

فهرست

بخش اول: مشخصات عمومی تجهیزات اندازه‌گیری	5
1-1- مقدمه	5
2-1- معرفی سیستم های کنترل و ابزار دقیق	5
3-1- کلیاتی در خصوص دستگاه های اندازه گیری	7
بخش دوم: کاربرد سنسورها در اتوماسیون	13
1-2- مفهوم سنسور	13
2-2- انواع سنسور بر حسب کمیت مورد اندازه گیری	14
بخش سوم: شیرهای کنترلی	43
1-3- مقدمه	43
2-3- ساختمان شیر کنترل	43
3-3- پوزیشنر	55
بخش چهارم: اصول طراحی کیفی سیستم های کنترلی	59
1-4- مقدمه	59
2-4- علائم استاندارد	59
3-4- حروف شناسایی دستگاه ها و ادوات	59
4-4- نقشه ها و مدارک فنی	59
5-4- اختصارات و علائم کاربردی	64
مراجع	67

بخش اول:

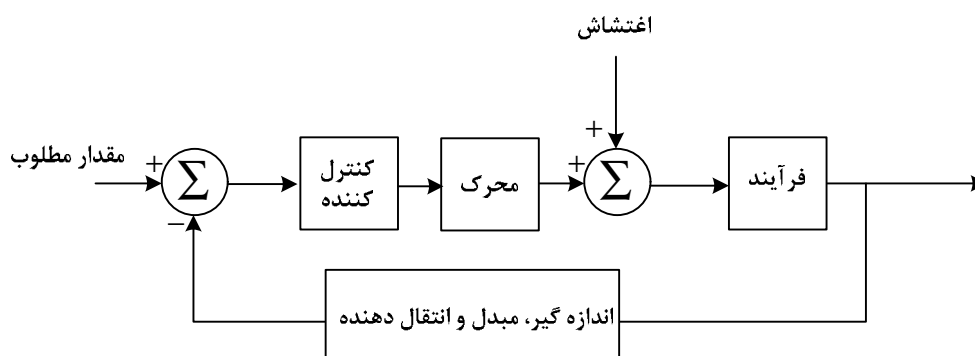
حضات عمومی

نیزات اندازه گیری

3 بخش اول: مشخصات عمومی تجهیزات اندازه گیری

1-1- مقدمه:

یکی از مهم ترین مسائل مورد توجه در بحث کنترل صنعتی آشنایی با اجزای تشکیل دهنده یک حلقه کنترل و نیز مطالعه تعدادی از سنسورهای مختلف و کنترل آن ها می باشد. در شکل زیر یک سیستم کنترلی ساده نشان داده شده است.



شکل 1-1: اجزا تشکیل دهنده یک سیستم کنترلی حلقه بسته

برای تنظیم متغیر تحت کنترل¹، لازم است تا در هر لحظه مقدار متغیر تحت کنترل اندازه گیری شده و به جهت مقایسه با مقدار مطلوب² یا سیگنال ورودی ارسال گردد. عملیات اندازه گیری متغیر تحت کنترل و تبدیل آن به فرم قابل مقایسه با مقدار مطلوب و ارسال آن جهت مقایسه با ورودی مذکور در انتقال دهنده³ انجام می گیرد. کنترل کننده خطای موجود در متغیر تحت کنترل را از مقدار مطلوب مشخص نموده و با روشی که از قبل برای آن در نظر گرفته شده است، فرمان مناسبی جهت تصحیح خطا به محرک⁴ صادر می نماید.

محرک نیز پس از دریافت فرمان تصحیح از کنترل کننده، عامل کنترلی (انرژی ورودی به سیستم) را که باعث تنظیم متغیر تحت کنترل می شود با روش معینی وادار به عمل می نماید. در نتیجه عملکرد کل این مجموعه باعث تنظیم متغیر تحت کنترل خواهد شد. البته واضح است که زمان تنظیم و نیز کیفیت آن بستگی به مشخصات اجزاء متشکله سیستم دارد.

1-2- معرفی سیستم های کنترل و ابزار دقیق:

سیستم های کنترل و ابزار دقیق متناسب با کاربردها، در طیف وسیعی از سیستم های بسیار پیچیده تا نسبتاً ساده قرار گرفته اند. در هر سیستم کنترل و ابزار دقیق علاوه بر اجزاء اصلی کنترل (کامپیوتر، ریزپردازنده و غیره) سه یا چهار بخش موجود می باشد که این اجزاء عبارتند از:

- 1- سنسورها و یا مبدل ها⁵
- 2- اجزاء اندازه گیری و آماده سازی سیگنال
- 3- وسایل کنترلی و محرک ها
- 4- نشانگر و ثبات

¹ متغیر تحت کنترل، کمیت یا شرطی است که اندازه گیری می شود.

² Set Point
³ Transmitter
⁴ Actuator
⁵ Transducers

1- **سنسورها و یا مبدل‌ها:** معمولاً اولین قسمت سیستم کنترل خودکار، قسمت احساس کننده و یا سنسور می باشد که شرایط، حالات، یا متغیرهای فرآیند را احساس کرده و متناسب با این شرایط سیگنال های خروجی متناسب با آن ها را ایجاد می نماید. غالباً سیگنال خروجی این قسمت از نوع الکتریکی می باشد.

امروزه در سیستم های کنترل از مبدل ها و یا ترانسدیوسرهای مختلفی استفاده می شود. بطور نمونه می توان سنسورهای حرکت و نیرو (شتاب، دامنه، تغییر مکان، نیرو، گشتاور، فشار، قدر مطلق سرعت، سرعت، کشش)، شرایط سیال (جریان، فشار، سطح مایع) رطوبت، بخار هوا، روشنایی، پرتو زائی، دما و صدا را نام برد.

نظر به اینکه امکان جمع آوری اطلاعات در خصوص انواع مبدل ها و سنسورهای مختلف در یک کتاب درسی وجود ندارد. لذا انواع مهم تر و مورد نظر؛ این مبدل ها در بخش های بعدی توضیح داده خواهند شد.

2- **اجزاء اندازه گیری و آماده سازی سیگنال:** اندازه گیری، مهم ترین قسمت سیستم های کنترل و ابزار دقیق می باشد. برای مثال دما و فشار و یا بطور کلی متغیرهای فرآیند، مانند سرعت جریان سیال، خاصیت اسیدی و بسیاری دیگر از کمیت ها اندازه گیری می شوند. اندازه گیری فقط برای آگاهی از شرایط و یا کمیت متغیر انجام نمی گیرد، بلکه بیشتر اوقات، برای تعیین سیگنال خطا مقدار اندازه گیری شده با مقدار مطلوب مقایسه می شود. سیگنال خطا محرک را بکار انداخته تا متغیر فرآیند به مقدار معینی رسیده و یا خروجی فرایند کنترل شود.

در سیستم های کنترل معمولی، نخست توسط یک سنسور شرایط یا کمیت های متغیر فرآیند، به سیگنال الکتریکی یا فشار هوای معادل تبدیل می شود. سیگنال الکتریکی تبدیل شده معمولاً جریان، ولتاژ، مقاومت، ظرفیت خازنی، ظرفیت القائی، فرکانس و سرعت تکرار پالس می باشد. در سیستم های دیجیتال (بر مبنای کامپیوتر)، فرآیند اندازه گیری، شامل تبدیل مقادیر آنالوگ به مقادیر عددی دیجیتال و برعکس نیز می باشد. از آنجاکه در کامپیوترها پالسهای دیجیتالی مورد استفاده قرار می گیرد، از مبدل های آنالوگ به دیجیتال (A/D) و دیجیتال به آنالوگ (D/A) در این سیستمها استفاده می شود.

3- **وسایل کنترلی و محرک ها:** در اکثر سیستم های کنترل، آخرین مرحله از سیستم معمولاً شامل یک عملگر می باشد. عملگر معمولاً یکی از موارد زیر است:

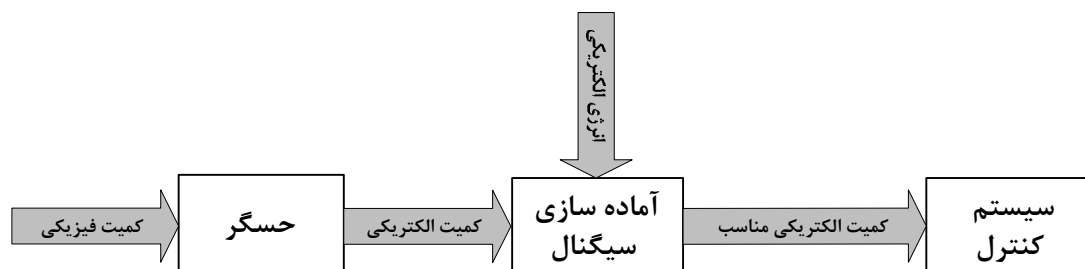
- یک کلید یا کنتاکت که در حالت باز و یا بسته قرار می گیرد.
- یک شیر که در حالت کاملاً باز و یا بسته و یا در یک حالت میانی می باشد.
- یک وسیله الکترومغناطیسی که توسط جریان الکتریکی تحریک شده و یک عمل مکانیکی را انجام می دهد.
- یک موتور که شروع به چرخش یا توقف نموده و یا جهت آن تعویض شده و یا سرعت آن تغییر می یابد.

همچنین بین سنسور و عملگر، اجزاء کنترل مختلفی قرار دارند که هر کدام عمل معینی را در سیستم انجام می دهند. این وسایل معمولاً کلید، شیر، سیم پیچ مغناطیسی، رله ها، لامپ های الکترونی و عناصر کنترل نیمه هادی می باشند.

4- **نشانگر و ثبات:** اصطلاح نشانگر و ثبات به وسایلی اطلاق می شود که سیگنالها را ثبت و یا نشان داده و یا باعث انتقال سیگنالی بین اجزاء مختلف سیستم می شوند. در سیستم های ساده تر و قدیمی تر، نشان دهنده به فشارسنج ها، دماسنج ها، اندازه گیرهای الکتریکی و چراغ های روی تابلوهای کنترل که نشان دهنده اتفاقی در سیستم می باشند (نظیر چراغ های قرمز چشمک زن که هنگام رسیدن سطح مایع در مخزن به حد معینی روشن و خاموش می شوند) و وسایلی نظیر این ها اطلاق می شد؛ اما در سیستم های بر مبنای ریز کامپیوتر کلمه نشان دهنده معمولاً به نشانگرهای دیجیتالی، پایانه های تصویری و ماشین های چاپگر گفته می شود.

1-2-1- اجزاء سیستم های کنترل و ابزار دقیق:

همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است، سیستم های اندازه گیری اصولاً شامل یک مبدل می باشند که وضعیت و یا کمیت مورد اندازه گیری (مورد سنجش) را به سیگنال قابل استفاده و معمولاً الکتریکی تبدیل می نماید. البته اصطلاحات مبدل و سنسور غالباً و اصولاً در رشته ابزار دقیق و کنترل با هم تعویض می شوند اما از نظر تخصصی مبدل یک وسیله کاملی است که به ازای یک کمیت مورد سنجش خروجی مورد نظر را ایجاد می کند، اما سنسور یک جزئی از مبدل می باشد که بطور واقعی کمیت مورد سنجش را حس می کند. لذا مبدل ها یا فقط از یک سنسور تشکیل شده و یا شامل هردو قسمت سنسور و تبدیل کننده می باشند. بندرت سیگنال های خروجی سنسورها و یا مبدل ها به همان صورتی که هستند مورد استفاده قرار می گیرند، بنابراین غالباً سیگنالهای خروجی مبدل، توسط مدارهای آماده سازی سیگنال پردازش شده و به صورت قابل استفاده ای در می آیند.



شکل 1-2: اساس یک سیستم اندازه گیری و آماده سازی سیگنال

در سیستم اندازه گیری نشان داده شده در شکل فوق، سیگنالهای آماده شده به سیستم کنترل و ابزار دقیق که می تواند شامل یک نشان دهنده دیجیتالی و یا آنالوگ، ثبات یا چاپگر عددی نیز باشد اعمال می گردد. در نتیجه کمیت مورد سنجش به شکل قابل استفاده برای خواندن مثل درجه، عدد و غیره در نشان دهنده نیز آشکار می شود. در سیستم های کنترل مشابه آنچه در شکل فوق نشان داده شده است، خروجی های کنترل به یک کنترل کننده و یا یک وسیله کنترلی دیگر اعمال می گردد. در نتیجه کنترل کننده سیگنالی را با توجه به مبنای ورودی و مقادیر حاصل از خروجی فرایند مورد نظر ایجاد می کند تا وسایل کنترل کننده فرایند، نظیر شیرها، عمل کننده ها، موتورها و غیره را بکار اندازد.

1-3-3- کلیاتی در خصوص دستگاه های اندازه گیری:

همان طور که در مقدمه ذکر گردید، برای دستیابی به یک سیستم کنترل مدار بسته به عناصری نظیر اندازه گیر، مبدل و انتقال دهنده احتیاج داریم که گاهی تمام این اجزا و گاهی برخی از آنها در یک سیستم کنترل بکار گرفته می شوند. به جهت کنترل مناسب، بایستی روش های اندازه گیری عواملی نظیر فشار، درجه حرارت، سطح مایع درون مخزن، سرعت سیال در حال حرکت، رطوبت محیط، غلظت سیال و... به خوبی مورد بررسی قرار گیرد. قبل از آنکه به بحث شناسایی روش های مختلف اندازه گیری بپردازیم، ابتدا خصوصیات و کلیاتی را در خصوص وسایل اندازه گیری بیان خواهیم کرد.

1-3-1- مشخصات دستگاه های اندازه گیری:

برای انتخاب وسیله اندازه گیری مناسب باید مشخصات سیستم مورد نظر به خوبی شناخته شود. مشخصات عملکردی یک سیستم اندازه گیری به دو گروه کلی مشخصات استاتیکی و دینامیکی تقسیم می گردد:

- مشخصات استاتیکی، معیاری برای اندازه گیری کمیت در زمانی است که مقدار آن ثابت بوده و یا با سرعت بسیار آهسته تغییر می کند. این مشخصات معمولاً برای پاسخ حالت دائمی بیان می گردند. در واقع این مشخصات رابطه بین کمیت فیزیکی ورودی و خروجی الکتریکی در حالت پایدار و ورودی ثابت می باشند.
- مشخصات دینامیکی، ارتباط بین ورودی و خروجی برای زمانی است که کمیت مورد اندازه گیری تغییرات وسیعی دارد.

مشخصات استاتیکی یک دستگاه اندازه گیری به شرح زیر می باشند:

1. صحت یا درستی¹
2. دقت²
3. تکرارپذیری³
4. خطی بودن
5. خطای مجاز⁴
6. محدوده اندازه گیری⁵
7. حساسیت⁶
8. هیستریزیس⁷

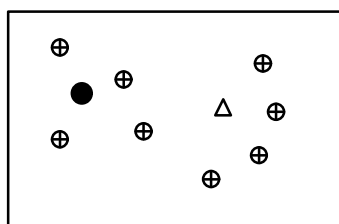
اکنون به بررسی این مشخصات می پردازیم:

- 1- **صحت یا درستی:** مقدار نزدیکی کمیت اندازه گیری شده نسبت به مقدار واقعی را گویند. رابطه زیر مقدار درستی را بدست می دهد:

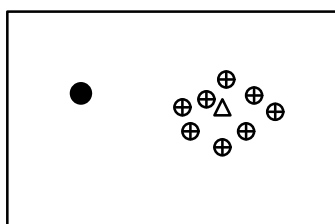
$$1-1 \quad \text{درستی} = \frac{\text{مقدار اندازه گیری شده} - \text{مقدار واقعی}}{\text{کل بازه اندازه گیری}} \times 100$$

- 2- **دقت:** میزان وضوح و دقت در بیان کمیت اندازه گیری شده را گویند. هر چه وسیله اندازه گیری کمیت را با تعداد رقم اعشار بیشتری نمایش دهد، دقت بالاتری دارد؛ مثلاً کمیت اندازه گیری شده A با مقدار 8.0012 نسبت به کمیت B با مقدار 8.001 دقت بیشتری دارد. شکل زیر تفاوت بین درستی و دقت را به خوبی نمایش می دهد:

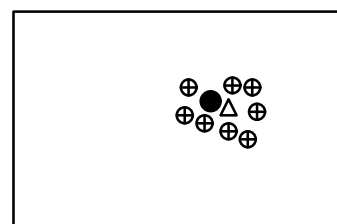
¹ Accuracy
² Precision
³ Repeatability
⁴ Tolerance
⁵ Range
⁶ Sensitivity
⁷ Hysteresis



درستی کم
دقت پایین



درستی کم
دقت خوب



درستی خوب
دقت خوب

● مقدار واقعی
△ تخمینی از مقدار اندازه گیری شده
⊕ مقادیر مختلف خوانده شده توسط دستگاه اندازه گیری

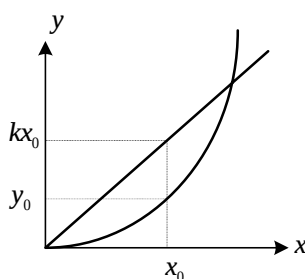
شکل 1-2: رابطه بین درستی و دقت اندازه گیری

3- **تکرارپذیری:** بیان کننده میزان فاصله خروجی ها به ورودی های یکسان که به صورت پشت سر هم و با فاصله زمانی کم و با شرایط اندازه گیری کاملاً یکسان، ابزار یکسان، مکان یکسان و روش اندازه گیری یکسان انجام گرفته است.

$$2-1 \quad \text{تکرار پذیری} = \frac{\text{حداقل مقدار خوانده شده} - \text{حداکثر مقدار خوانده شده}}{\text{حداقل مقدار خوانده شده} + \text{حداکثر مقدار خوانده شده}} \times 100$$

4- **خطی بودن:** اگر رابطه تغییرات ورودی نسبت به تغییرات خروجی یک وسیله اندازه گیری خطی باشد؛ وسیله اندازه گیری را خطی می نامند.

غیرخطی بودن کارایی سیستم را پایین می آورد. میزان درصد غیرخطی بودن وسیله با توجه به شکل زیر از رابطه 1-3 بدست می آید:



$$3-1 \quad \text{درصد غیر خطی بودن} = \frac{y_0 - kx_0}{x_0} \times 100$$

مشخصه غیرخطی حتی برای وسایل اندازه گیری مشابه، از یکی به دیگری تغییر می کند؛ بنابراین پس از ساخت هر وسیله اندازه گیری کالیبراسیون¹ یک امر ضروری می باشد.

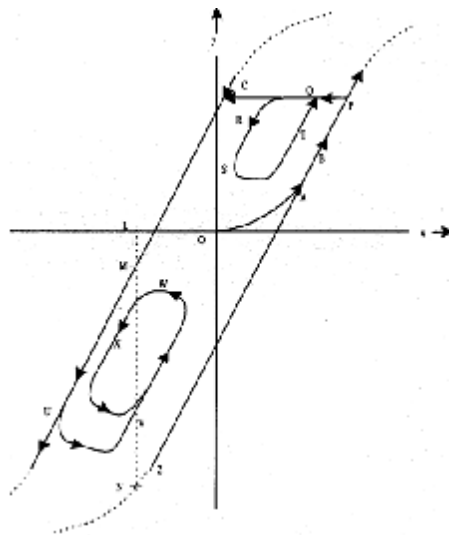
5- **خطای مجاز (تولرانس):** مستقیماً به مفهوم درستی برمی گردد و بیان گر حداکثر خطایی است که در یک مقدار انتظار داریم؛ بنابراین میزان درستی یک ابزار را با تولرانس آن بیان می کنند.

6- **محدوده اندازه گیری:** محدوده ای که یک وسیله اندازه گیری می تواند در آن عمل کند را گویند.

¹ سنجش مجدد وسیله اندازه گیری توسط دستگاه های دقیقتر مشابه

7- حساسیت: نسبت تغییرات ورودی به تغییرات خروجی یک سیستم اندازه گیری را گویند. به عبارتی دیگر نسبت تغییرات در عدد اندازه گیری شده به تغییرات کمیت اندازه گیری شده را حساسیت می نامند.

8- هیستریزیس: وقتی مقدار خروجی به ازای یک ورودی ثابت تابعی از مقادیر رو به افزایش و یا رو به کاهش باشد، مبدل دارای هیستریزیس است.



شکل 1-3: هیستریزیس در منحنی مشخصه

بطور مثال وجود لقی در چرخ دنده ها و یا پس ماند مغناطیسی می تواند سبب هیستریزیس گردد. برای محاسبه هیستریزیس یک دستگاه نسبت اختلاف حداکثر در خروجی به خروجی حداکثر به درصد را می سنجند.

مشخصه های دینامیکی یک سیستم اندازه گیری مربوط به حالت گذرای آن می باشند. از آنجایی که سیستم اندازه گیری همواره در حال بیان تغییرات ورودی در خروجی می باشد، تقریباً به ندرت در حالت استاتیکی قرار می گیرد و معمولاً در حالت دینامیکی قرار دارد. مشخصه های دینامیکی معمولاً از دو طریق پاسخ زمانی و پاسخ فرکانسی مورد تحلیل قرار می گیرد.

از دیگر عوامل مهم در مبحث اندازه گیری، خطای اندازه گیری می باشد. خطا در اندازه گیری به چند دسته تقسیم می گردد:

- 1- **خطای کاربرد¹ (استعمال):** این خطا ناشی از تغییر حالت دستگاه می باشد. بطور مثال گرم شدن ترمومتر در اثر تماس با مواد، فشار کولیس بر روی جسم، افت ولتاژ در اثر اتصال ولت متر
- 2- **خطای شخصی²:** این خطا ناشی از استفاده غلط از دستگاه می باشد؛ مانند نگاه کج به عقربه، قرار دادن غلط کولیس بر روی کار و...
- 3- **خطای محیط³:** این خطا ناشی از تأثیرات عواملی مثل رطوبت، فشار، حرارت و... می باشد. برای حذف این خطا می توان از شرایط استاندارد استفاده کرد.
- 4- **خطای دینامیکی⁴:** این خطا در سیگنال های متغیر با زمان دیده می شود که ناشی از پاسخ نامناسب از یک مبدل می باشد؛ مانند خطای ناشی از سرعت عکس العمل نامناسب یا ناپایداری شرایط و یا خطای حالت دائمی.

¹ Application error

² Operating Error

³ Environmental Error

⁴ Dynamic Error

1-3-2- اجزای یک سیستم اندازه‌گیری:

دستگاه‌های اندازه‌گیری اکثراً از سه قسمت زیر تشکیل می‌گردند:

1- **سنسور**: طبقه آشکارساز یا حس کننده و مبدل که متغیر فیزیکی را آشکار کرده و جهت کاربرد بعدی، آن را تبدیل به یک سیگنال قابل استفاده تر مثل ولتاژ می‌نماید.

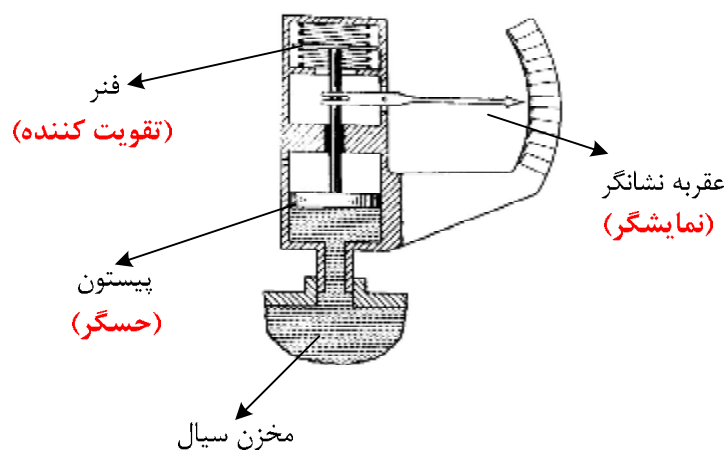
این بخش مهم‌ترین جز دستگاه اندازه‌گیری می‌باشد که در تماس مستقیم با کمیت مورد اندازه‌گیری است. سنسور می‌تواند فعال یا غیرفعال باشد. سنسور فعال انرژی خود را از یک منبع انرژی مستقل (کمکی) دریافت می‌کند اما سنسور غیرفعال انرژی خود را از تبدیل انرژی کمیت ورودی بدست می‌آورد. از آنجایی که ممکن است نویز به سیستم وارد شود، سنسور باید تکنولوژی و کیفیت خوبی داشته باشد.

2- **تقویت کننده**: طبقه میانی که با ایجاد تغییراتی نظیر تقویت کردن، فیلتر کردن و یا سایر امور سیگنال ورودی را به شکل مناسب تری تبدیل می‌کند.

از آنجاکه خروجی سنسور ضعیف است، برای قابل پردازش شدن آن، تقویت‌کننده‌ای بعد از سنسور قرار می‌دهند. در این بخش همچنین برای کاهش نویز احتمالی از فیلتر استفاده می‌گردد.

3- **نمایش گر**: طبقه نهایی که جهت ثبت، نمایش و یا کنترل متغیر اندازه‌گیری شده بکار می‌رود.

شکل زیر به خوبی این بخش‌ها را برای یک فشارسنج نشان می‌دهد:



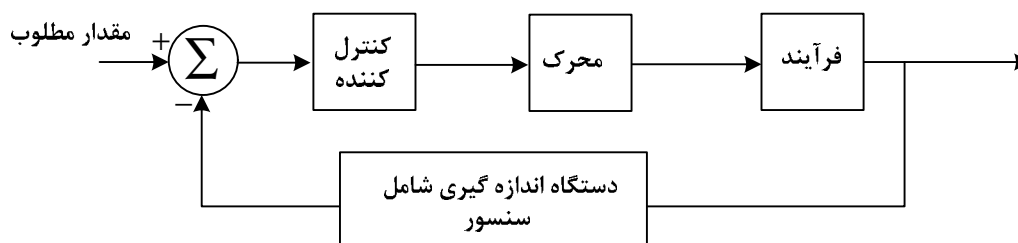
بخش دوم: کاربرد سنسورها در اتوماسیون

3 بخش دوم: کاربرد سنسورها در اتوماسیون

2-1- مفهوم سنسور:

سنسور و یا عنصر حس کننده عبارت از جزئی از دستگاه اندازه گیری می باشد که کمیت مورد اندازه گیری را عملاً حس کرده و آن را از یک پدیده غیر قابل اندازه گیری به پدیده و یا خاصیت قابل اندازه گیری تبدیل نماید. مثل ترموکوپل که حرارت را به شدت جریان الکتریکی تبدیل می کند.

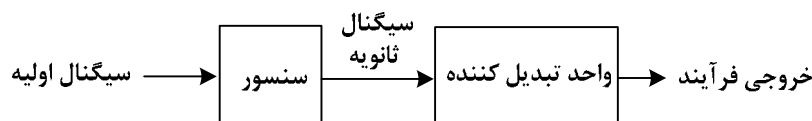
جایگاه سنسور که جزئی از دستگاه اندازه گیری می باشد در یک حلقه کنترل بسته در شکل 2-1 به صورت شماتیک نشان داده شده است. میزان کمیت مورد نظر در خروجی سنسور توسط عنصر حس کننده حس شده و در مقایسه کننده با مقدار مطلوب مقایسه شده و سیگنال حاصله «سیگنال خطا» به کنترلر اعمال و نتیجتاً جهت بهبود در وضعیت کنترل کمیت مورد نظر به سنسور اعمال می گردد و این عمل آنقدر تکرار می گردد تا سیگنال خطا به صفر نزدیک شود.



شکل 2-1: اجزا تشکیل دهنده یک سیستم کنترلی حلقه بسته

در اینجا لازم است یادآوری گردد که در برخی از کتب مفهوم سنسور یا حس کننده و ترانسدیوسر یا مبدل و ترانسمیتر¹ یا فرستنده یکسان در نظر گرفته شده است و گاهی به یک مفهوم اطلاق می گردند.

مبدل (ترانسدیوسر) به مجموعه ای از قطعات و یا دستگاهی گفته می شود که بتواند کمیت فیزیکی مورد نظر را دریافت و متناسب با آن کمیتی از جنس دیگر را تحویل دهد. این عمل در مبدل ها با دریافت انرژی از خارج دستگاه صورت می گیرد، مثلاً ترانسدیوسر حرکت مکانیکی به فشار پنوماتیک توسط تغذیه هوای فشرده تغییر مکان مکانیکی را به فشار هوا تبدیل می کند و یا ترانسدیوسر حرکت مکانیکی به شدت جریان الکتریکی مستلزم دریافت انرژی الکتریکی از خارج دستگاه می باشد. شکل 2-2 شماتیک یک ترانسدیوسر را نشان می دهد.

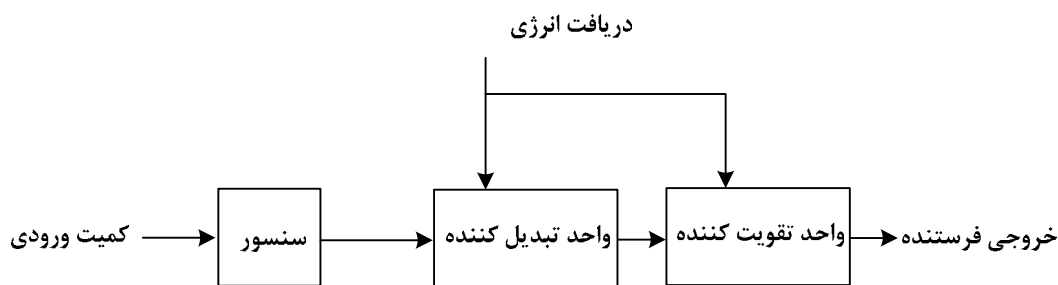


شکل 2-2: اجزا تشکیل دهنده یک مبدل

فرستنده (ترانسمیتر) به مجموعه ای از قطعات و یا دستگاهی گفته می شود که بتواند کمیت فیزیکی مورد نظر را دریافت و پس از تبدیل آن به کمیت فیزیکی دیگری آن را تقویت کرده و ارسال نماید.

ترانسمیترها عموماً در واحدهای صنعتی بزرگ جهت انتقال سیگنالها و فرامین از محوطه واحدها به اتاق فرمان (کنترل) و بالعکس مورد استفاده قرار می گیرند. شکل 2-3 شماتیک یک ترانسمیتر را نشان می دهد.

¹ Transmitter



شکل 2-3: اجزا تشکیل دهنده یک فرستنده

2-2- انواع سنسور بر حسب کمیت مورد اندازه گیری:

سنسورها از لحاظ کمیت مورد اندازه گیری به چندین بخش اصلی تقسیم می گردند:

- 1- سنسورهای تغییر مکان
- 2- سنسورهای سرعت و شتاب
- 3- سنسورهای اندازه گیری نیرو و گشتاور
- 4- سنسورهای دما
- 5- سنسورهای فشار
- 6- سنسورهای جریان سیال
- 7- سنسورهای اندازه گیری سطح سیال

2-2-1- سنسورهای اندازه گیری تغییر مکان:

شناخت عملکرد وسایل اندازه گیری میزان تغییر مکان¹ بسیار حائز اهمیت می باشد. در حقیقت مبدل های تعیین تغییر مکان به عنوان عنصر ثانویه در دستگاه های اندازه گیری کمیت هایی چون فشار، درجه حرارت، نیرو، گشتاور و غیره مورد استفاده قرار می گیرند. کمیت های فوق الذکر در عنصر اولیه مبدل های مربوطه به حرکت خطی «تغییر مکان» تبدیل می گردند و سپس توسط مبدل های تعیین تغییر مکان مورد سنجش قرار می گیرند.

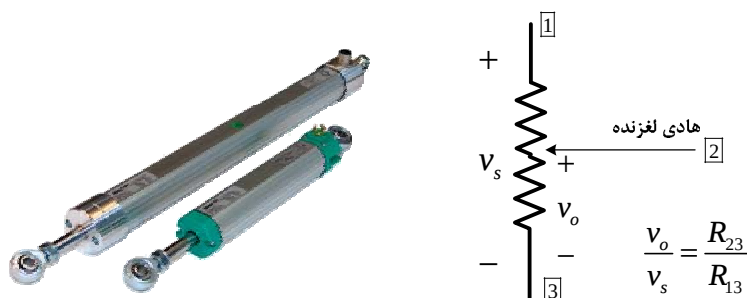
اکنون به بررسی انواع مبدل های تغییر مکان خواهیم پرداخت. لازم به تذکر است که با توجه به نوع تغییر مکان مبنی بر آنکه خطی و یا دورانی باشد وسایل اندازه گیری میزان تغییر مکان نیز به دو گروه خطی و دورانی (زاویه ای) تقسیم می گردند.

الف) وسایل اندازه گیری میزان تغییر مکان خطی:

1- پتانسیومتر مقاومتی:

پتانسیومتر مقاومتی شامل یک مقاومت و یک عنصر لغزنده می باشد. چنانچه در شکل 2-4 ملاحظه می شود ولتاژ V_s به دو سر نقاط 1 و 3 اعمال می شود و مقدار ولتاژ خروجی V_o بین نقطه اتصال لغزنده با مقاومت (یعنی نقطه 3) و نقطه 3 اندازه گیری می شود:

¹ Displacement



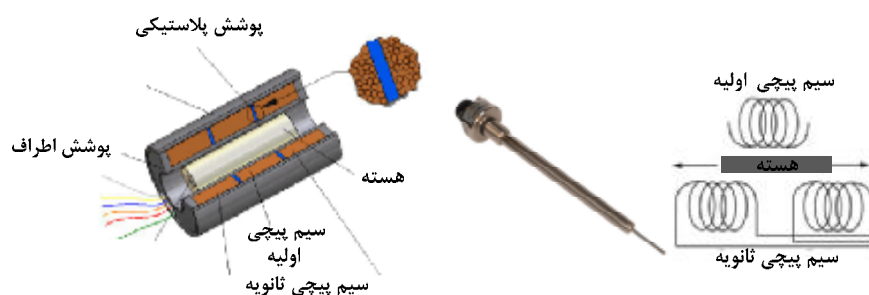
شکل 2-4: پتانسیومتر مقاومتی

عنصری که تغییر مکان آن اندازه‌گیری می‌شود باید به عنصر لغزنده پتانسیومتر متصل شود. مقاومت پتانسیومتر مقاومتی در 3 نوع هادی سیم‌پیچ¹ و یا با پوشش کربنی² و یا با پوشش پلاستیکی هدایتی³ ساخته می‌شود.

مشکلات عملی در پتانسیومترها در نقطه اتصال بین المان لغزنده (جاروبک) و مقاومت می‌باشد که عموماً وجود جرم و کثافات در زیر المان لغزنده می‌باشد که نتیجتاً مقدار مقاومت الکتریکی را افزایش می‌دهد و در نتیجه خطایی در سنجش میزان خروجی دستگاه اندازه‌گیری پدید می‌آورد. حرکت و سرعت المان لغزنده نیز خطایی در خواندن خروجی دستگاه ایجاد می‌کند. طول عمر این نوع دستگاه بستگی به تعداد دفعات حرکت رفت و برگشت المان لغزنده بر روی مقاومت دارد که برای پتانسیومترهای با هادی سیم‌پیچ 1000000 بار و برای پتانسیومترهای با پوشش کربنی 5000000 و برای پتانسیومترهای با پوشش پلاستیکی هدایتی 30000000 بار می‌باشد.

2- ترانسفورمر متغیر تفاضلی خطی (LVDT):

این دستگاه چنانچه در شکل 2-5 ملاحظه می‌شود از دو سیم‌پیچ که به صورت سری و معکوس به یکدیگر متصل شده‌اند و یک هسته آهنی که متصل به جسمی که میزان سنجش تغییر مکان آن مدنظر می‌باشد، تشکیل شده است، بطوریکه ولتاژ خروجی دستگاه در وضعیت میانی صفر و با زیاد شدن جابجایی هسته مقدار آن زیاد می‌شود. در وضعیت صفر هسته نسبت به سیم‌پیچ اولیه و ثانویه تقارن مغناطیسی دارد.



شکل 2-5: LVDT

از آنجاکه تماس اصطکاکی بین هسته و سیم‌پیچ‌ها وجود ندارد، LVDT⁴ عمر طولانی‌تری نسبت به پتانسیومترها دارد. (حدود 200 سال) این دستگاه دارای قدرت تشخیص بسیار بالایی می‌باشد ولی به علت آنکه ساخت دو سیم‌پیچ ثانویه کاملاً یکسان مشکل می‌باشد از این رو خروجی دستگاه دارای دقت بسیار زیادی نیست.

¹ Wire-Wound

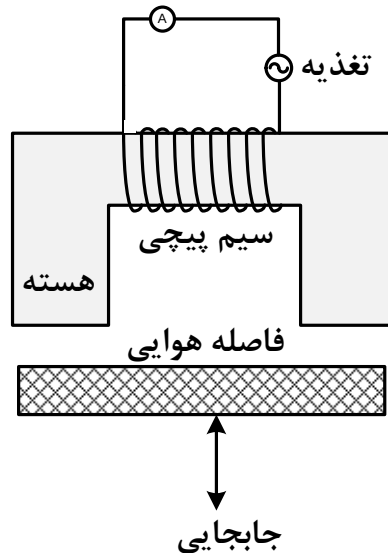
² Carbon Film

³ Conducting Plastic Film

⁴ Liner Variable Differential Transformer

3- ترانسفورمر تغییر مکان به روش القائی متغیر¹:

روش عملکرد آن‌ها مشابه LVDT می‌باشد و تفاوت، آن‌ها با LVDT در این است که بجای سه سیم‌پیچ در LVDT دارای یک عدد سیم‌پیچ هستند.

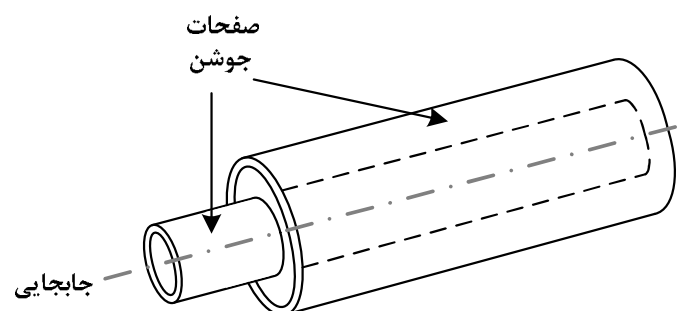


شکل 2-6: ترانسفورمر تغییر مکان به روش القائی متغیر

در شکل 2-6 سیم‌پیچ به دور محور وسطی قاب C شکل کشیده شده است و حرکت صفحه مقابل قاب C شکل میزان شار مغناطیسی حاصله در قاب C شکل را تغییر می‌دهد و موجب تغییر جریان عبوری در سیم‌پیچ می‌گردد.

4- ترانسدایوسر تغییر مکان بروش ظرفیت متغیر² (خازنی):

چنانچه به وضوح در شکل 2-7 ملاحظه می‌شود میزان تغییر مکان شیء مورد نظر به یک صفحه (جوشن) خازن اعمال می‌شود و نتیجتاً میزان ظرفیت خازن متناسب با تغییر مکان صفحه (جوشن) خازن تغییر می‌یابد.



شکل 2-7: ترانسفورمر تغییر مکان به روش ظرفیت متغیر

5- استرین گیج:

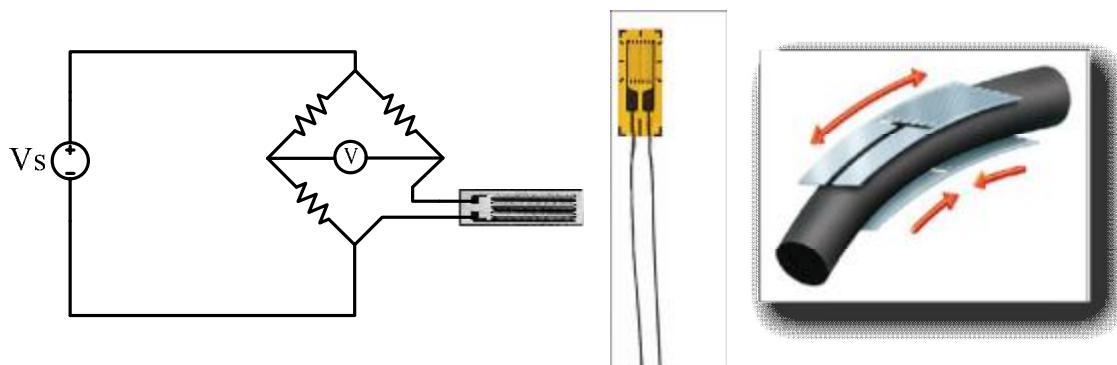
استرین گیج‌ها در حقیقت مقاومتی هستند که به واسطه اعمال کشش، مقاومت الکتریکی آن‌ها تغییر می‌کند. فاکتوری تحت عنوان گیج فاکتور رابطه بین ورودی، خروجی این وسایل را تعیین می‌کند که به‌قرار زیر هستند:

¹ Variable Inductance Transducers

² Variable Capacitance Transducers

$$GF = \frac{\Delta R / R}{\Delta S}$$

که میزان ΔR تغییرات در مقاومت و ΔS تغییرات در کشش استرین گیج می باشد. استرین گیج ها بر روی یک صفحه قابل انعطاف چسبانده می شوند و کاربرد وسیعی در صنعت دارند.

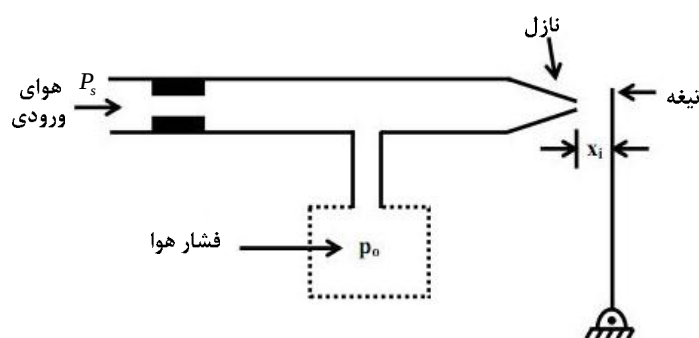


شکل 8-2: استرین گیج

شکل 8-2 نمایانگر استرین گیج می باشد، استرین گیج ها عمدتاً برای تعیین تغییر مکان های کوچک به کار می روند.

6- تیغه و نازل¹:

همان طور که در شکل 9-2 به وضوح دیده می شود تغییر مکان مورد نظر به صفحه تیغه این دستگاه اعمال می شود و با توجه به میزان فاصله تیغه از نازل مقدار فشار خروجی P_0 تغییر می یابد. دستگاه دارای منبع انرژی خارجی می باشد که دارای فشار تغذیه P_s می باشد. حساسیت بالا و محدوده کوچکی دارد و معمولاً در اندازه گیری های بسیار کوچک بکار می رود.



شکل 9-2: تیغه و نازل

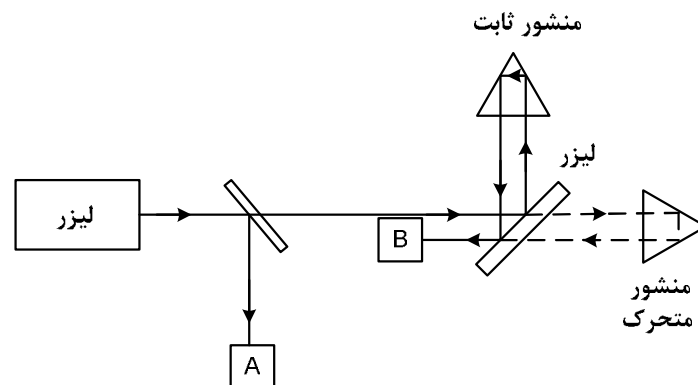
7- اینترفرومتر لیزری²:

این نمونه پیشرفته که اخیراً مطرح شده است از اشعه لیزر و دو منشور ثابت و متحرک و دو جداکننده تشکیل شده است. این نوع نیز در ماشین های ابزار کاربرد دارد.

¹ Nozzle Flapper

² Laser Interferometer

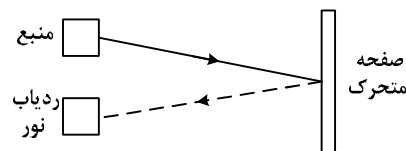
میزان خروجی از فتودتکتورهای A و B (شکل 2-10) تقویت شده و با یکدیگر مقایسه می‌شود. میزان تفاوت طول موج‌های موجود در فتودتکتورهای A و B متناسب با تغییر مکان منشور متحرک می‌باشد.



شکل 2-10: اینترفومتر لیزری

8- سنسور فتونیک¹:

سنسور فتونیک یکی از پیشرفته‌های اخیر در زمینه وسایل ابزار دقیق جهت سنجش تغییر مکان‌های کوتاه می‌باشد. این دستگاه چنانچه در شکل 2-11 ملاحظه می‌شود شامل یک منبع نور و یک ردیاب نور و سیستم انتقالی فیبر نوری و یک صفحه قابل حرکت می‌باشد (این صفحه متصل به جسمی است که میزان تغییر مکان آن مد نظر می‌باشد). میزان نور منعکس شده و برگشت یافته به ردیاب نور متناسب با فاصله صفحه متحرک از روزه‌های سیستم انتقالی فیبر نوری می‌باشد.



شکل 2-11: سنسور فتونیک

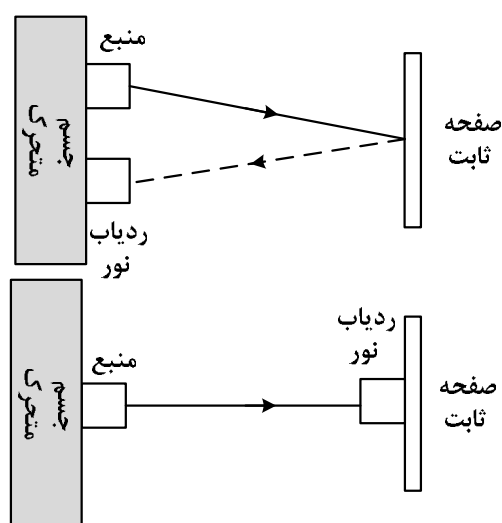
یک کاربرد معمول این دستگاه جهت سنجش میزان جابجایی دیافراگم در سنسورهای فشار می‌باشد.

9- سنسورهای رنج²:

این دستگاه شامل منبع انرژی و ردیاب (گیرنده) انرژی و وسایل الکترونیکی جهت بدست آوردن زمان پرواز انرژی بین منبع انرژی و گیرنده می‌باشد. انرژی می‌تواند صوتی و یا نوری باشد. این دستگاه در دو نوع طراحی می‌شود. در شکل اول 2-13 منبع انرژی و منبع گیرنده بر روی جسم متحرک که میزان و تغییر مکان آن مدنظر است وصل شده است و در شکل دوم 2-13 منبع انرژی بر روی جسم متحرک و منبع گیرنده بر روی دیواره ثابت قرار گرفته است. انرژی صوتی برای تغییر مکان‌های کوچک مناسب نیستند (زیرا سرعت صوت برابر با 340 ثانیه/متر می‌باشد) و در صورتی که انرژی نوری استفاده شود باید توجه داشت که سرعت نور در هوا برابر با 3×10^8 ثانیه/متر می‌باشد یعنی 1 متر مسیر را در ثانیه طی می‌کند. از این رو این سیستمها فقط برای اندازه‌گیری فواصل طولانی‌ای مناسب هستند که زمان پرواز نور به حدی کافی باشد که با دقت مناسب قابل اندازه‌گیری باشد.

¹ Photonic Sensor

² Range Sensors

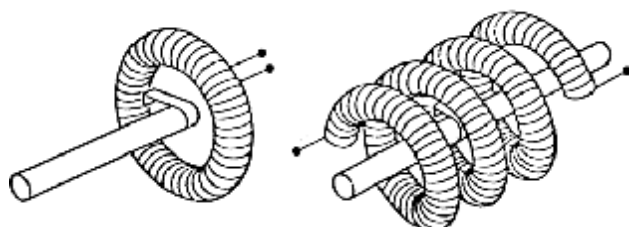


شکل 2-13: سنسورهای رنج

ب) وسایل اندازه‌گیری میزان تغییر مکان دورانی (زاویه‌ای):

1- پتانسیومترهای حلقوی یا پیچشی¹:

این نوع وسایل اندازه‌گیری ارزان‌ترین وسیله اندازه‌گیری برای تعیین میزان تغییر مکان دورانی (زاویه‌ای) می‌باشند. همان‌طور که در شکل 2-14 ملاحظه می‌شود اصول عملکرد آن مشابه پتانسیومترهای مطرح شده در تعیین تغییر مکان خطی می‌باشند. بجز آنکه المان مقاومت آن‌ها به‌صورت حلقوی یا پیچشی بسته شده است و ولتاژ خروجی اندازه‌گیری شده در نقطه اتصال لغزنده متناسب با جابجایی یا تغییر مکان زاویه‌ای لغزنده از نقطه شروع می‌باشد.



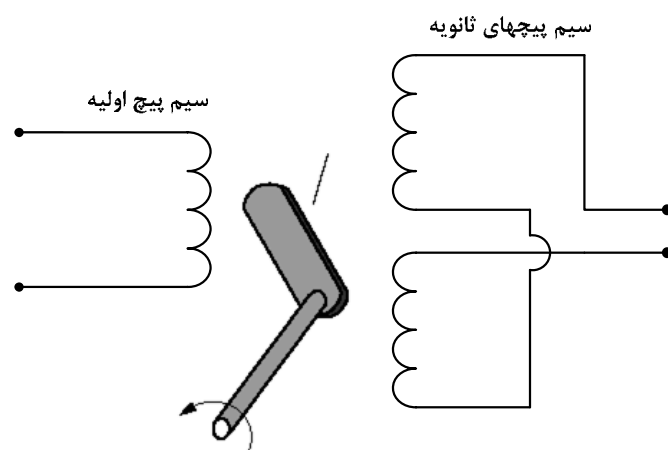
شکل 2-14: پتانسیومترهای حلقوی یا پیچشی

2- ترانسفورمر تفاضلی دورانی (زاویه‌ای)²:

ساختمان این وسیله اندازه‌گیری مشابه ترانسفورمر متغیر تفاضلی خطی (LVDT) که در بخش قبلی مطرح شده می‌باشد، بجز آنکه شکل خاصی از هسته آن بکار رفته است که با چرخش آن اندوکتانس القاء شده بر روی سیم‌پیچ‌ها تغییر می‌یابد علاوه بر مشکلی که در LVDT مطرح شد و آن عدم دقت در ساخت یکسان سیم‌پیچ‌های ثانویه می‌باشد. مشکل دیگر این وسیله اندازه‌گیری در ساخت دقیق هسته آن با شکل خاص می‌باشد. این وسیله اندازه‌گیری در محیط‌های خشن با قرار دادن پوششی بر روی آن قابل استفاده می‌باشد.

¹ Circular & Helical Potentiometer

² Rotational Differential Transformer



شکل 2-15: ترانسفورمر تفاضلی دورانی

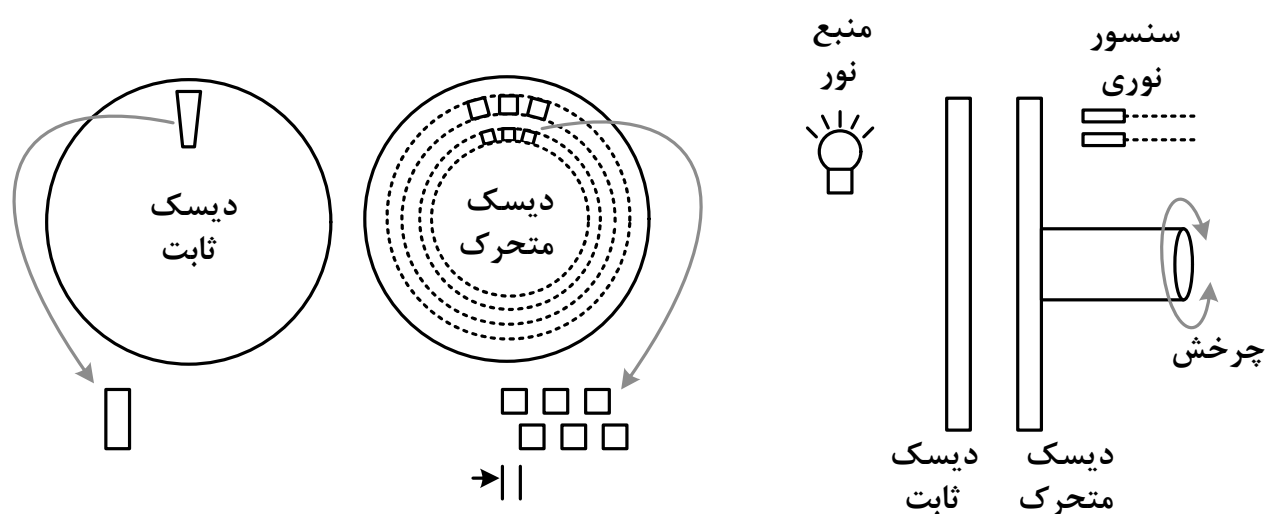
3- شافت کد زننده مرتبه‌ای¹:

این وسیله یک نمونه از وسایل کد زننده‌ای است که خروجی دیجیتالی ایجاد می‌کند. بطور خلاصه عملکرد آن، به این صورت است که وسیله موقعیت لحظه‌ای یک شافت را نسبت به نقطه مبنايي اندازه‌گیری می‌کند که البته این اندازه‌گیری به صورت مطلق نیست بلکه نسبی است. اصول عملکرد آن بر این پایه استوار است که این وسیله پالس‌هایی را در حین چرخش شافتی که تغییر مکان زاویه‌ای آن مدنظر است تولید می‌کند. این پالس‌ها شمارش می‌شوند و مقدار چرخش زاویه‌ای شافت با شمارش پالس‌ها محاسبه می‌گردد. این پالس‌ها یا توسط منبع نوری و یا مغناطیسی تولید می‌شوند و توسط سنسورهای مناسب دریافت می‌شوند. نوع نوری ارزان‌تر و بیشتر معمول می‌باشد.

این نوع وسیله چون خروجی دیجیتالی دارد از این‌رو در کاربردهای کنترل کامپیوتری راحت‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرا لزومی به استفاده از مبدل سیگنال آنالوگ به دیجیتال نمی‌باشد. چنانچه در شکل 2-16 دیده می‌شود این دستگاه شامل دو دیسک ثابت و متحرک می‌باشد که دیسک متحرک به جسمی متصل است که میزان تغییر مکان زاویه‌ای (دورانی) آن مطرح می‌باشد. دیسک ثابت دارای یک پنجره (منفذ) می‌باشد که مستقیماً در معرض تابش منبع نور قرار می‌گیرد و دیسک متحرک دارای دو مسیر پنجره (منفذ) می‌باشد و دو سنسور نور در پشت دیسک تعبیه شده‌اند تا نور عبوری از منافذ دیسک متحرک را دریافت کنند. با چرخش دیسک متحرک نور به صورت پالس توسط سنسورهای نور دریافت می‌گردند و این پالس‌ها به شمارنده تغذیه می‌شوند و با شمارش پالس‌ها میزان چرخش و یا تغییر مکان زاویه‌ای دیسک متحرک تعیین می‌گردد.

منافذ بیرونی دیسک متحرک اطلاعات مقدماتی در مورد میزان تغییر مکان زاویه‌ای (دورانی) را می‌دهند اما منافذ درونی دیسک متحرک جهت حرکت شافت را مشخص می‌کند. در حقیقت پالس‌های حاصله از منافذ درونی با تأخیر یا تقدم نسبت به پالس‌های تولید شده توسط منافذ بیرونی جهت چرخش رانشان می‌دهند. یک نمونه از کاربرد این وسیله در ماشین‌های مته و تراش می‌باشد.

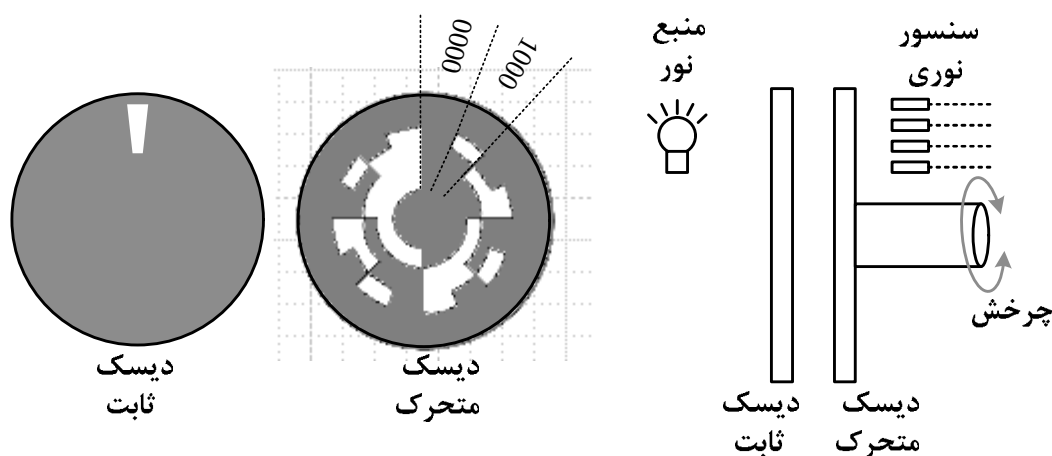
¹ Incremental Shaft encoders



شکل 2-16: شافت کد زننده مرتبه‌ای

4- شافت کد زننده با دیسک کدبندی شده¹:

خروجی این دستگاه برعکس نوع مرتبه‌ای که شرح آن در قسمت قبلی آمد به صورت مقادیر عددی دودویی می‌باشد که منجر به اندازه‌گیری مطلق خواهد شد که برای کاربردهای کامپیوتری بسیار مناسب می‌باشد. این دستگاه با یکی از سه نوع منبع انرژی نوری، الکتریکی و یا مغناطیسی بکار می‌رود که نوع نوری ارزان‌تر و معمول می‌باشد. نوع نوری کاربرد وسیعی دارد از جمله موارد آن اندازه‌گیری وضعیت چرخش مفاصل در بازوهای ربات می‌باشد. اصول عملکرد آن مشابه نوع مرتبه‌ای است و تفاوت آن در ترتیب قرار گرفتن منافذ دیسک متحرک می‌باشد. منافذ دیسک متحرک در چهار مسیر و یا بیشتر تعبیه می‌گردند و سنسورهای نوری در صورتی که چهار مسیر در دیسک متحرک تعبیه شده باشد در چهار نقطه در پشت دیسک متحرک قرار می‌گیرند. خروجی سنسورها به صورت 1 یا 0 نمودار می‌گردند (در صورتی که نور را دریافت کنند 1 و در غیر این صورت 0 نشان خواهند داد). میزان تشخیص این وسیله ابزار دقیق رابطه مستقیم با تعداد مسیرهای تعبیه شده در دیسک متحرک دارد. مثلاً برای چهار مسیر میزان تشخیص $\frac{1}{16}$ می‌باشد و اگر تعداد مسیر بیشتر باشد میزان تشخیص بالاتری بدست خواهد آمد.



¹ Coded Disk Shaft encoders

شکل 2-17: شافت کد زننده با دیسک کدبندی شده

در تئوری این نوع عملکرد کافی به نظر می‌رسد اما در عمل به واسطه مشکلات موجود در ساخت دقیق منافذ بر روی دیسک متحرک، منافذ هر مسیر طوری در کنار هم قرار گرفته‌اند که با جزئی حرکت شافت احتمال اشتباه در قرائت عدد خروجی دارد. این نکته در رابطه با عدد 7 که معادل 0111 و عدد 8 که معادل 1000 می‌باشد حاصل می‌شود بطوریکه با تغییر بسیار جزئی دورانی شافت احتمال دارد رقم 1111 که معادل عدد 15 می‌باشد قرائت گردد و در حقیقت 100% خطا در قرائت عدد خروجی به وجود آید حال تصور کنید اگر دستگاه فوق در یک سیستم کنترل موقعیت (مانند سیستم رادار و یا ماهواره) قرار گیرد این خطا بسیار حائز اهمیت خواهد بود زیرا سیستم کنترل، موقعیت غیر واقعی را حس کرده و کل سیستم را به موقعیت غلطی هدایت می‌کند.

برای رفع این نقیصه دو راه حل پیشنهاد شده است که به‌قرار زیر می‌باشند:

- اضافه کردن یک مسیر اضافی در پیرامون دیسک متحرک تحت عنوان مسیر ضد ابهام‌زدایی که در حقیقت این مسیر شامل منافذ کوچکی است که در فواصل کوتاهی از یکدیگر تعبیه شده‌اند. هنگامی که سنسور تعبیه شده متعلق به این مسیر اضافی نور را دریافت کند نشانگر این نکته است که دیسک متحرک در وضعیتی قرار گرفته است که عدد خروجی دستگاه قابل‌اطمینان نیست زیرا دیسک متحرک بر روی لبه‌های لایه‌مرزی بین 2 عدد متفاوت قرار گرفته، در حقیقت این راه حل یک نوع هشدار به سیستم کنترل مورد نظر ابلاغ می‌کند.
- روش دوم تا حدی ساده‌تر و ارزان‌تر از راه حل قبلی است. در این روش دیسک متحرک با کد مخصوص بنام کد خاکستری طراحی شده است. در این کد مخصوص نمایش خاصی از سیستم عددی دودویی وجود دارد بطوریکه بازاء تغییر هر عددی صرفاً یک رقم دیجیتال آن تغییر می‌کند و این مسئله در جدول کد خاکستری که در شکل 2-18 منعکس است به وضوح دیده می‌شود.

Decimal	Binary	Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

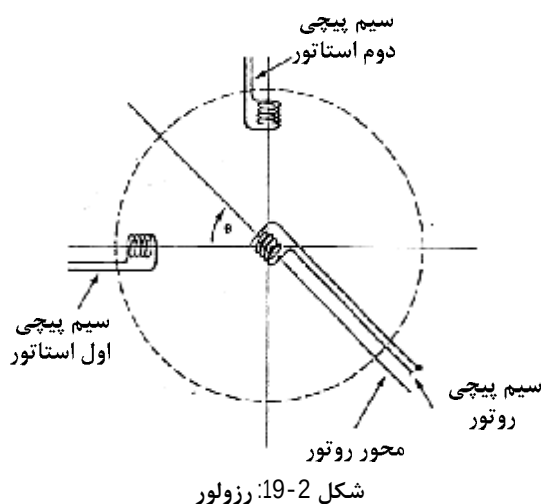
شکل 2-18: جدول کد خاکستری

5- استفاده از رزولور¹:

این دستگاه شباهت به یک موتور A.C با قطری حدود 10mm تا 100mm می‌باشد. این دستگاه یک وسیله الکترومکانیکی می‌باشد که خروجی آن به‌صورت آنالوگ می‌باشد و هیچ سطح قابل تماس در آن وجود ندارد و بدون اصطکاک است و در عمل بسیار قابل‌اطمینان، دارای دو سیم‌پیچ استاتور و یک سیم‌پیچ روتور می‌باشد (روتور می‌تواند دارای دو سیم‌پیچ هم باشد) که با

¹ The Resolver

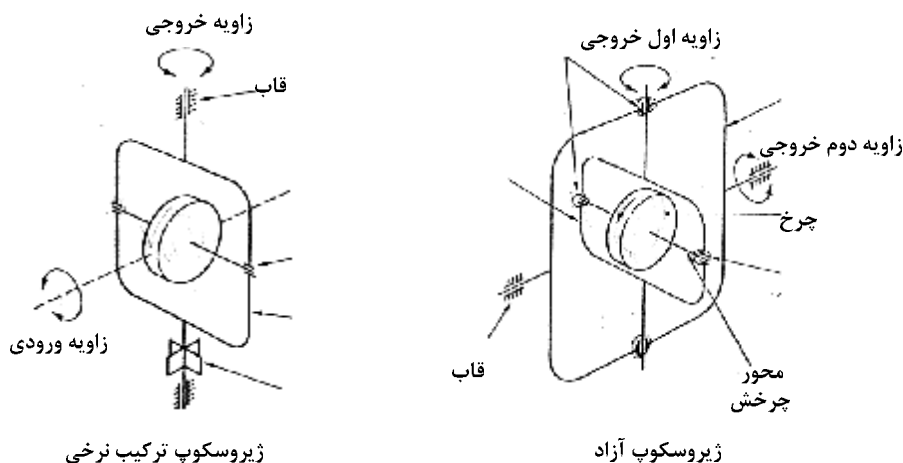
چرخش روتور (که به شی‌ای که تغییر مکان زاویه‌ای آن مدنظر است متصل می‌باشد) ولتاژ خروجی دستگاه تغییر می‌کند. با توجه به آنکه تغییر دامنه و یا تغییر فاز ولتاژ خروجی مطرح باشد در دو حالت استاتور تحریک می‌شود. برای تغییر دامنه استاتور توسط یک ولتاژ موج سینوسی تک فاز تحریک می‌شود و برای تغییر فاز استاتور توسط یک ولتاژ موج سینوسی دو فاز تحریک می‌گردد.



6- ژيروسکوپ‌ها¹:

ژيروسکوپ‌ها هم قادر به اندازه‌گیری مقدار تغییر مکان زاویه‌ای مطلق و هم سرعت زاویه‌ای مطلق می‌باشند. ژيروسکوپ‌ها دارای یک چرخ بزرگ موتوردار می‌باشند که زاویه ممثوم آن به‌طوری است که محور گردش آن چرخ تمایل به ثابت ماندن در فضا دارد و به‌عنوان نقطه مرجع عمل می‌کند.

قاب ژيروسکوپ به بدنه‌ای که گردش آن مدنظر است متصل می‌شود (مثلاً در کشتی و هواپیما و موشک به بدنه آن‌ها متصل می‌گردد). خروجی دستگاه بر حسب زاویه بین قاب و محور چرخ گردان می‌باشد. این دستگاه‌ها عموماً در دو نوع آزاد و ترکیبی نرخی ساخته می‌شوند که در نوع آزاد چرخش و دوران بدنه‌ای که به قاب متصل است در دو جهت اندازه‌گیری می‌شود و در نوع ترکیبی نرخی میزان تغییر مکان زاویه‌ای فقط در یک جهت اندازه‌گیری می‌شود و از این‌رو برای تعیین تغییر مکان در جهت‌های سه بعدی نیاز به استفاده از سه ژيروسکوپ نوع ترکیبی نرخی می‌باشد. شکل 2-20 شمای کلی این دو نوع ژيروسکوپ را نشان می‌دهد:



¹ The Gyroscopes

شکل 2-20: ژيروسکوپ

2-2-2- سنسورهای اندازه‌گیری سرعت و شتاب:

در این قسمت وسایل اندازه‌گیری سرعت و شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند.

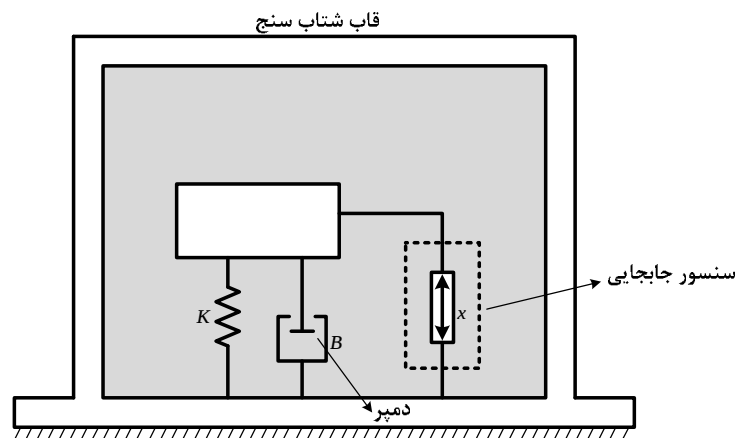
الف) تعیین میزان سرعت خطی:

سرعت خطی به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود و روش‌های زیر بطور غیرمستقیم میزان سرعت خطی را مشخص می‌کنند.

- مشتق‌گیری از کمیت تغییر مکان خطی: توسط مشتق‌گیری از هر یک از وسایل شرح داده شده در تعیین میزان تغییر مکان خطی می‌توان میزان سرعت خطی را بدست آورد؛ اما مشتق‌گیری موجب افزایش اغتشاش و نویز خواهد شد از این‌رو بهتر است از وسایلی که میزان تولید اغتشاش و پارازیت آن‌ها کم است همچون پتانسیومتر با لایه کربنی و تحریک DC و یا اینترفرومتر لیزری استفاده کرد.
- انتگرال‌گیری از کمیت خروجی یک شتاب‌سنج: اگر از خروجی یک شتاب‌سنج انتگرال‌گیری صورت بگیرد میزان سرعت خطی بدست خواهد آمد. انتگرال‌گیری برعکس مشتق‌گیری میزان اغتشاش و پارازیت را کاهش می‌دهد و از این‌رو تکنیک بسیار قابل قبولی می‌باشد.
- تبدیل سرعت خطی به سرعت زاویه‌ای: یکی از معمول‌ترین روش‌ها تبدیل سرعت خطی به سرعت زاویه‌ای می‌باشد که شرح آن در وسایل اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خواهد آمد.

ب) تعیین میزان شتاب¹:

دستگاهی که میزان شتاب را مشخص می‌کند، شتاب‌سنج² نام دارد و همان‌طور که در شکل 2-21 مشاهده می‌شود بدنه شتاب‌سنج به بدنه دستگاهی که تعیین شتاب آن مدنظر است متصل می‌گردد و در درون بدنه شتاب‌سنج جرم و فنر و دمپر قرار گرفته است.



شکل 2-21: شتاب سنج

هنگامی که جسم مورد نظر با شتاب a حرکت کند به جرم داخل شتاب‌سنج نیرویی برابر با $F = Ma$ وارد خواهد شد و موجب تغییر مکان x می‌گردد تا حدی که این نیرو با نیروی فنر تعبیه شده $F_s = kx$ برابر شود. از این طریق مقدار a توسط یک

¹ Measurement of Acceleration

² Accelerometer Case

مبدل تعیین تغییر مکان بدست می‌آید. شتاب‌سنج یک سیستم درجه دو هست از این رو وجود دم‌پر از نوسانات احتمالی دستگاه جلوگیری می‌کند.

ج) تعیین میزان سرعت زاویه‌ای:

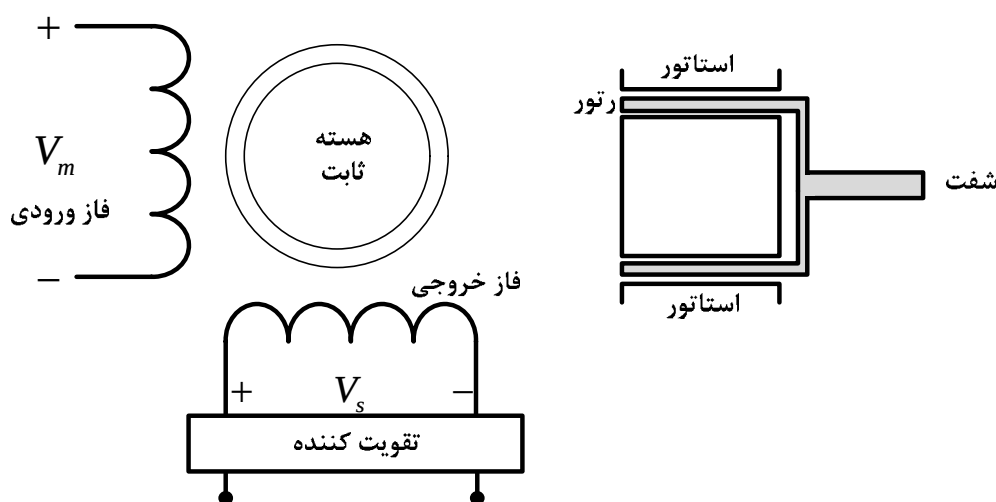
همانند آنکه با داشتن سرعت خطی می‌توان با مشتق‌گیری، میزان تغییر مکان زاویه‌ای و یا با انتگرال‌گیری از خروجی یک شتاب‌سنج میزان سرعت زاویه‌ای را مشخص کرد.

1- ژنراتور تاکومتر DC:

ژنراتور تاکومتر DC و یا تاکومتر DC دارای خروجی متناسب با سرعت گردشی خود تاکومتر می‌باشد. اساس ساختمان آن متشابه همان ژنراتورهای مولد برق DC است و دارای استاتور و یک روتور می‌باشد. استاتور آن می‌تواند مغناطیسی دائم باشد و یا توسط یک ولتاژ مشخص تحریک گردد. وزن روتور با پیچاندن سیم‌پیچ آن به دور استوانه‌ای توخالی از نوع فیبر شیشه‌ای کاهش یافته است و تأثیر این عمل کاهش بار وزنی این ابزار دقیق بر روی سیستمی است که سرعت زاویه‌ای آن مدنظر می‌باشد. خروجی این دستگاه یک ولتاژ DC می‌باشد که دارای دامنه بالایی هست و بالطبع دارای حساسیت اندازه‌گیری 57 ولت در هر 1000 rpm دور در دقیقه می‌باشد.

2- ژنراتور تاکومتر ac:

ژنراتور تاکومتر ac و یا تاکومتر ac دارای خروجی متناسب با سرعت گردش خود تاکومتر است. این وسیله دارای دو سیم‌پیچ استاتور و یک روتور همانند شکل 2-22 می‌باشد یک استاتور آن با ولتاژ ac تحریک می‌شود و سیگنال اندازه‌گیری از ولتاژ القا شده خروجی در سیم‌پیچ دوم استاتور بدست می‌آید. مقدار دامنه سیگنال خروجی این دستگاه هنگامی که روتور ثابت است برابر صفر است در غیر این صورت با چرخش روتور مقدار دامنه سیگنال خروجی با سرعت زاویه‌ای روتور متناسب خواهد بود.

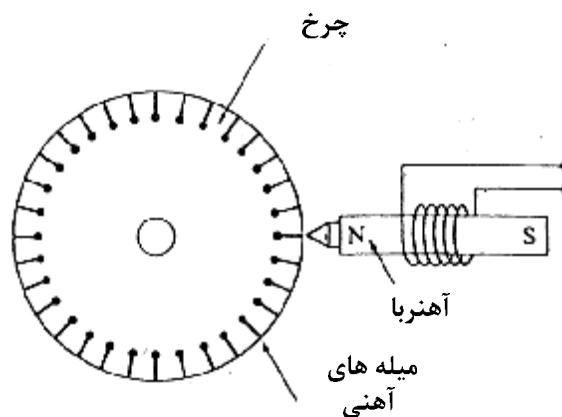


شکل 2-22: تاکومتر ac

3- ترانسدیوسر سرعت با مقاومت مغناطیسی متغیر¹:

¹ Variable- Reluctance Velocity Transducer

این دستگاه چنانچه در شکل 2-23 ملاحظه می‌شود دارای یک دیسک محرک (که به بدنه جسمی که سرعت زاویه‌ای آن مدنظر است متصل می‌شود) و یک قطعه مقاومت مغناطیسی می‌باشد. دیسک متحرک از یک نوع فیبری ساخته شده است که میله‌های آهنی نرمی در پیرامون این دیسک به داخل آن فرو رفته‌اند. فاصله قطعه مقاومت مغناطیسی با پیرامون دیسک حدود 0/5 میلیمتر می‌باشد. با چرخش دیسک هر بار که میله‌های آهنی به قطعه مقاومت مغناطیسی نزدیک می‌شوند میزان مقاومت مغناطیسی قطعه افزایش می‌یابد و با دور شدن میله‌های آهنی میزان مقاومت مغناطیسی کاهش می‌یابد. طبیعت خروجی حاصله در قطعه مقاومت مغناطیسی همچون پالس‌هایی مثبت و منفی می‌باشد که توسط یک شمارنده از پالس می‌توان تعداد دفعات پالس را خواند و نتیجتاً سرعت زاویه‌ای دیسک را تعیین کرد.

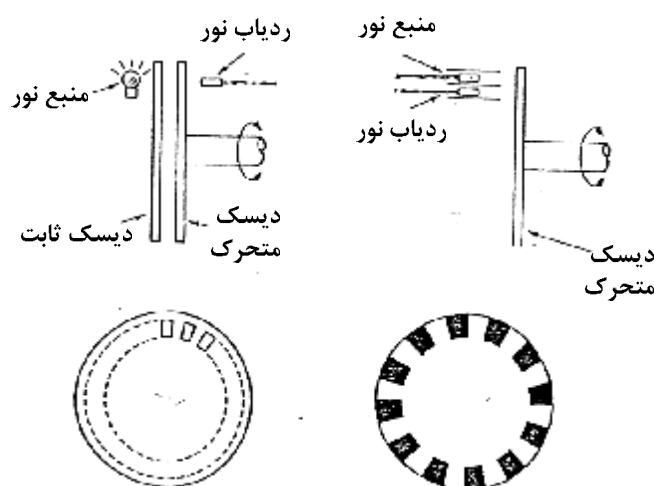


شکل 2-23: ترانسدیوسر سرعت با مقاومت مغناطیسی متغیر

4- متدهای پالس شمار فتوالکتریک¹:

در این روش پالس‌ها توسط یک سیستم فتوالکتریک به وجود می‌آیند. در شکل 2-24 دو روش تولید پالس ملاحظه می‌شود. در روش اول پالس‌ها توسط دریافت و یا عدم دریافت نور از منافذی که بر روی دیسک متحرک قرار گرفته‌اند به وجود می‌آیند ولی در روش دوم پالس‌ها توسط دریافت نور به واسطه برگشت نور از دیسک متحرک حاصل می‌گردد. در این روش فرستنده و گیرنده در کنار هم قرار دارند و بر پیرامون دیسک متحرک قسمت‌های سفید و سیاهی قرار دارد که موجب انعکاس و یا عدم انعکاس نور می‌گردند. در هر روش پالس‌ها توسط یک شماره انداز الکتریکی شمارش می‌شود و فرکانس پالس‌ها متناسب با سرعت زاویه‌ای دیسک متحرک می‌باشد.

¹ Photoelectric pulse- Counting methods



شکل 2-24: متدهای پالس شمار فتوالکتریک

5- ژيروسکوپ نرخ¹:

ساختمان ژيروسکوپ نرخي همانند ژيروسکوپ ترکیبی نرخي که در مباحث قبلی شرح داده شده می باشد. تنها فرق این دستگاه افزایش فنرهایی می باشد جهت ثابت نگه داشتن حرکت دورانی قاب. این وسیله میزان سرعت زاویه ای مطلق را نشان می دهد و به صورت گسترده در تولید سیگنالهای نگه دارنده سیستم های ناوبری مورد استفاده قرار می گیرد.

2-2-3- سنسورهای اندازه گیری نیرو و گشتاور:

الف) وسایل اندازه گیری میزان نیرو²:

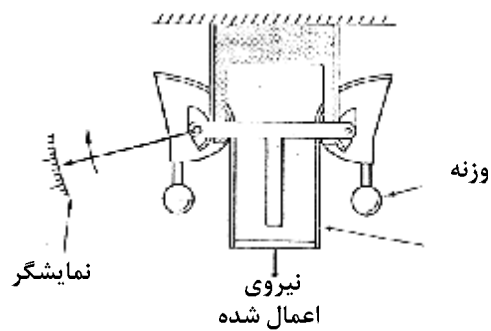
1- سیستم های تعادل نیرو:

بیشتر سیستم های تعادل نیرو بر اساس اندازه گیری نیروی ثقل اعمال شده بر روی یک جرم می باشند یکی از معروف ترین وسایل همان ترازو می باشد که در یک کفه آن جرم قرار می گیرد تا نیروی ثقل اعمال شده بر آن برابر با نیروی ناشناخته اعمال شده بر کفه دیگر گردد.

دستگاه دیگر مقیاس پاندول نام دارد، همان طور که در شکل 2-25 ملاحظه می شود اعمال نیروی ناشناخته موجب اعمال نیروی ثقل بر روی وزنه های دستگاه شده و نتیجتاً با گردش بادامک متصل به وزنه ها و عقربه متصل به آن میزان نیروی ناشناخته مشخص می گردد.

¹ The rate gyroscope

² Force



شکل 2-25: مقیاس پاندول

2- ترانسدیوسرهای الاستیکی نیرو¹:

اصول این نوع ترانسدیوسرها اعمال نیرو به اجسام الاستیک و اندازه‌گیری انحناء حاصله در آن‌ها می‌باشد. ساده‌ترین نوع آن فنر می‌باشد که با اعمال نیرو به آن و درجه‌بندی بر روی یک مقیاس میزان نیرو مشخص می‌شود. شکل 45 انواع اجسام الاستیک را و جهت‌های انحناء آن‌ها را نشان می‌دهد. این اجسام طوری باید ساخته شوند که نیرو فقط بر محور حساس آن‌ها اعمال شود و اعمال نیرو بر سایر محورهای آن‌ها بی‌تأثیر باشد.

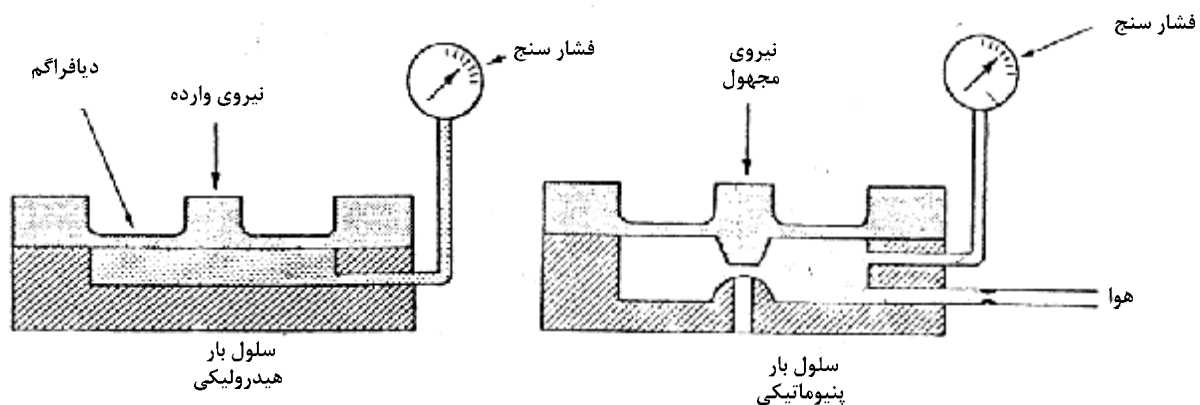


شکل 2-26: ترانسدیوسرهای الاستیکی نیرو

استفاده از استرین گیج بر روی این اجسام الاستیک دقت بیشتری در تعیین میزان نیروی وارده بر این اجسام خواهد داشت. استفاده از کریستال پیزو الکتریک نیز معمول می‌باشد.

3- تبدیل نیرو به فشار و یا سلول بار²:

شکل 2-27 مکانیسم تبدیل نیرو به فشار را نشان می‌دهند. در شکل اول نیروی اعمالی به تغییر فشار هوا در زیر محفظه دستگاه تبدیل می‌شود و در شکل دوم نیروی اعمالی موجب تغییر فشار در روغن خواهد شد. نوع روغنی نسبت به بادی (پنوماتیک) دقیق‌تر می‌باشد. به هر دو حالت اصطلاحاً سلول بار نیز اطلاق می‌شود.



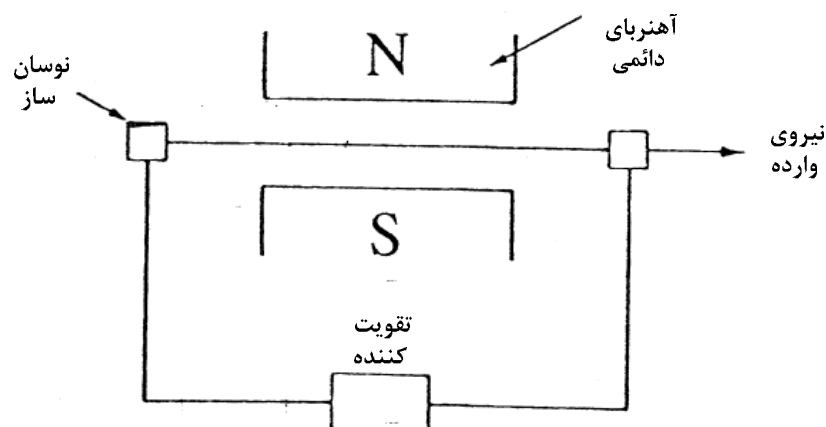
¹ Elastic Force transducers

² Load cell

شکل 2-27: سلول بارهای پنیوماتیکی و هیدرولیکی

4- سنسور با سیم مرتعش¹:

این وسیله چنانچه در شکل 2-28 ملاحظه می شود دارای یک سیمی است که توسط اوسیلاتور فرکانس متغیر با فرکانس تشدید در حال ارتعاش می باشد. اندازه گیری فرکانس خروجی اوسیلاتور میزان نیروی اعمالی به سیم مرتعش را تعیین خواهد کرد.

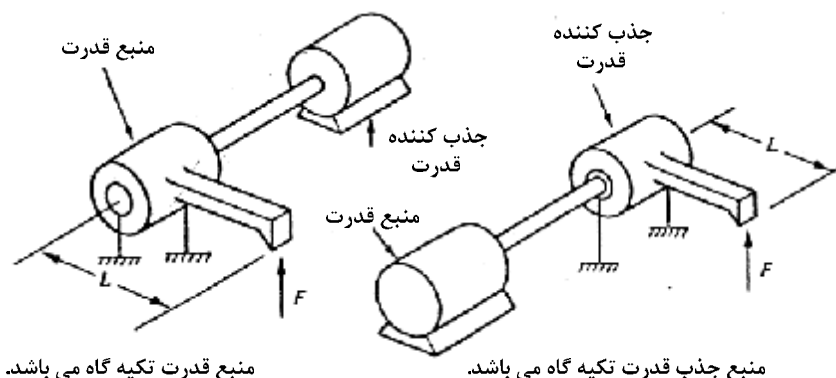


شکل 2-28: سنسور با سیم مرتعش

ب) وسایل اندازه گیری گشتاور²:

1- بوسیله نیروهای عکس العملی در یاتاقانهای شفت³:

هر سیستم دارای انتقال گشتاور شامل دو قسمت و مهم بنامهای منبع قدرت و منبع جذب قدرت می باشد. حال با قراردادن تکیه گاه میزان نیروی F بدست می آید و با حاصل ضرب F در L میزان گشتاور موجود بدست خواهد آمد. عموماً F نیروی عکس العمل بوسیله مقیاس پاندول بدست می آید.



منبع قدرت تکیه گاه می باشد.

منبع جذب قدرت تکیه گاه می باشد.

29-2: اندازه گیری در عکس العملی توسط تکیه گاه بر روی یاتاقانهای شافت

¹ Vibrating- Wire sensor

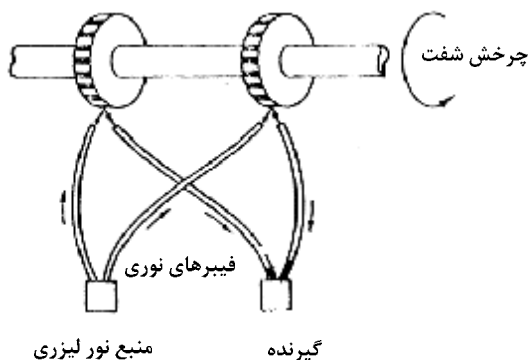
² Torque

³ Reaction forces in shaft bearings

2- وسیله اندازه‌گیری گشتاور بطریق نوری¹:

این وسیله اخیراً به واسطه پیشرفت در سیستم‌های انتقال نور فیبر نوری و ساخت دیودهای لیزری به وجود آمده است. چنانچه در شکل 2-30 ملاحظه می‌کنید، دو چرخ سیاه و سفید در دو انتهای شافت دوار تعبیه شده است. این دو چرخ در یک ردیف قرار دارند هنگامی که هیچ نوع گشتاوری به سیستم اعمال نشده است. نور از طریق منبع نور لیزری توسط یک جفت کابل فیبر نوری بسمت چرخ‌ها پرتاب می‌شود. دوران چرخ‌ها موجب تولید پالس‌هایی می‌شود که توسط یک جفت کابل فیبر نوری دیگری جذب دریافت‌کننده خواهند شد.

تحت شرایط گشتاور برابر با صفر پالس‌های برگشتی دارای یک فاز از یکسان با یکدیگر هستند در صورتی که گشتاوری به سیستم اعمال شود با تعیین اختلاف فاز پالس‌های دریافتی میزان گشتاور بدست می‌آید.



2-30: وسیله اندازه‌گیری گشتاور بطریق نوری

2-2-4- سنسورهای اندازه‌گیری دما:

درجه حرارت یکی از معمول‌ترین و مهم‌ترین کمیت‌هایی است که به منظور کنترل اکثر فرآیندهای صنعتی باید اندازه‌گیری شود. تنظیم دقیق پارامتر دما در بسیاری از فرآیندهای شیمیایی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین اهداف کنترلی می‌باشد؛ بنابراین شناسایی دستگاه‌ها و روش‌های مختلف اندازه‌گیری دما و آشنایی با محدودیت‌ها و محاسن هر یک از آن‌ها و مطابقت خصوصیات آن با مشخصات سایر تأسیسات نصب شده در یک فرآیند، بسیار مهم می‌باشد. دو روش عمده برای اندازه‌گیری درجه حرارت وجود دارد: 1- استفاده از مبدل‌های الکتریکی و الکترونیکی 2- استفاده از مبدل‌های غیر الکتریکی.

الف) اندازه‌گیری دما با استفاده از مبدل‌های غیر الکتریکی:

1- ترمومترها (حرارت‌سنج‌های محتوی سیال):

ترمومترها به سه دسته کلی تقسیم می‌گردند:

¹ Optical Torque Measurement



31-2: حرارت سنج محتوی مایعات

- **حرارت سنجهای محتوی مایعات:** اساس کار این نوع حرارت سنجهای رابطه بین دما و حجم مایع می باشد:

$$V_t = V_0 (1 + at + bt^2 + \dots)$$

مایع مورد استفاده در این نوع دستگاهها عموماً الکل، هیدروکربنها و جیوه می باشد. از آنجاکه درجه بندی از طریق رویت قرائت می شود، برای قرائت و حتی محدوده مقدار بالای قرائت محدودیت هایی وجود دارد، زیرا در درجات بالاتر از نقطه جوش مایع، بخار تولید شده فشار متناسب با خود ایجاد می کند که موجب اشتباه در قرائت می گردد.



32-2: حرارت سنج محتوی گاز

- **حرارت سنجهای محتوی گاز:** برای گازها در حجم ثابت و درجه حرارت متفاوت، رابطه بین دما و فشار تقریباً به صورت زیر می باشد:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

در حرارت سنجهای محتوی گاز می توان با دقت کافی، از این رابطه استفاده نمود. در حرارت سنجهای محتوی گاز عموماً از ازت و هلیوم استفاده می گردد.



33-2: حرارت سنج محتوی بخار

- **حرارت سنجهای محتوی بخار:** فشار بخار یک مایع، تابعی از درجه حرارت آن می باشد، از این خاصیت در حرارت سنجهای صنعتی استفاده می گردد. سرعت زیاد پاسخ، قیمت کم، سادگی تعمیرات از مزایای این وسیله می باشد. مایعات مورد استفاده در این نوع حرارت سنجهای الکل، اتر، متیل کلراید، سولفور و تولوئن می باشد.

2- حرارت سنجهای بی متال:

در مواردی که نیاز به قرائت دما بطور مرتب نمی باشد و کنترل دما صرفاً جهت اطمینان از عملکرد سیستم، بکار می رود، حرارت سنجهای بی متال مورد استفاده قرار می گیرد. اختلاف انبساط دو فلز تشکیل دهنده این دستگاه در اثر حرارت معیار عملکرد دستگاه می باشد. از آنجاکه ضریب انبساط فلزات تشکیل دهنده عنصر حساس بی متال کاملاً خطی نیست، درجه بندی این نوع حرارت سنجهای نیز خطی نمی باشد.



34-2: حرارت سنچ بی متال

ب) اندازه گیری دما با استفاده از مبدل های الکتریکی:

1- ترمیستور:

ترمیستور نوعی مقاومت حساس به دما است که به وسیله تغییرات دمایی، مقاومتش تغییر می کند. در واقع با اندازه گیری مقاومت یک ترمیستور، می توان دمای آن را تعیین نمود. به همین دلیل این ابزار به عنوان سنسور دما مورد استفاده قرار می گیرند. ترمیستورها معمولاً از مواد نیمه رسانا تشکیل شده اند. از این رو در دماهای بالا، زودتر خراب شده و عمر کوتاه تری دارند. مقاومت اغلب آن ها با افزایش دما افزایش می یابد. تغییر مقاومت ترمیستور توسط مدار پل وتستون اندازه گیری می گردد.



36-2: ترمیستور

2- ترموکوپل:

اگر دو فلز غیر همجنس را بهم پیچانده و حرارت دهیم، بین دو سر دیگر فلز که اصطلاحاً سر سرد نامیده می شود، نیروی الکتریکی ظاهر می شود. این نیرو با اختلاف درجه حرارت بین سرهای سرد و گرم متناسب می باشد. این پدیده فیزیکی اساس کار ترموکوپل ها می باشد. برای قرائت صحیح درجه حرارت، درجه حرارت سرهای سرد باید ثابت باشد. معمولاً ترموکوپل ها را برای حفاظت مکانیکی، در لوله قرار می دهند.

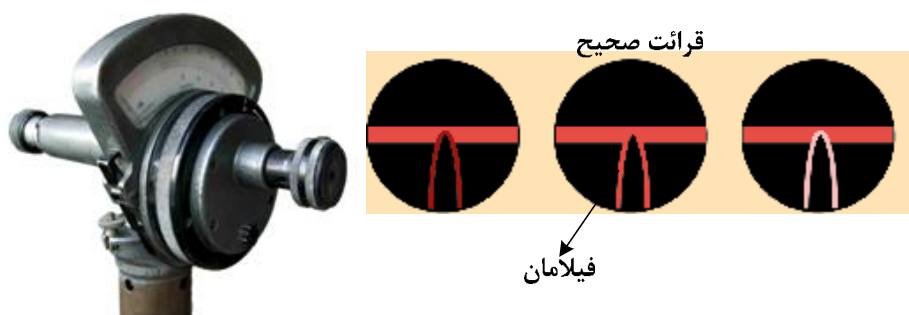


36-2: ترموکوپل

3- پیرومترها¹:

در میان وسایل اندازه‌گیری درجه حرارت، پیرومترهای تشعشعی و نوری بزرگترین محدوده اندازه‌گیری را دارند و برخلاف سایر وسایل نیازی به اتصال فیزیکی با جسم مورد اندازه‌گیری را ندارند. اساس کار این نوع وسیله به صورت زیر است:

- در پیرومترهای نوری مقایسه دو رنگ، یکی متعلق به جسم گداخته شده و دیگری متعلق به مقاومت الکتریکی یا فیلامان² پیرومتر مبنای تعیین درجه حرارت جسم گداخته شده می‌باشد. با منطبق کردن چشمی از داخل تلسکوپ پیرومتر بر روی جسم گداخته شده و تغییر شدت جریان فیلامان توسط پتانسیومتر به ترتیبی که باعث محو و عدم تشخیص آن در زمینه جسم گداخته گردد، درجه حرارت مجهول جسم گداخته شده برابر درجه حرارت معلوم فیلامان خواهد بود.



2-37: پیرومتر نوری

- در پیرومتر تشعشعی انرژی ساطع شده از جسم گرم را توسط یک لنز و یا یک مجموعه آینه بر روی عنصر حسگر دما متمرکز می‌کنند. این عنصر می‌تواند مقاومت حساس یا ترموکوپل باشد. در نتیجه بر خلاف پیرومتر نوری که باید به صورت دستی تنظیم یا قرائت گردد، پیرومتر تشعشعی قابل استفاده به صورت اتوماتیک می‌باشد.



2-38: پیرومتر تشعشعی

2-2-5- سنسورهای اندازه‌گیری فشار:

فشار به صورت نیروی اعمال شده از سوی یک مایع به یک سطح معین تعریف می‌گردد؛ بنابراین به صورت نیرو در واحد سطح بیان می‌گردد. معمولاً فشار در مقایسه با یک مبنا اندازه‌گیری می‌شود. تمام اندازه‌گیری‌های فشار به دو ورودی یکی برای اندازه‌گیری و دیگری برای مبنا احتیاج دارند.

- به عنوان مثال یک مبنا خلأ کامل است. در خلأ کامل فشار صفر است. فشار اندازه‌گیری شده که مبنای آن خلأ است، فشار مطلق نامیده می‌شود. (در سنسورهای اندازه‌گیری فشار مطلق، معمولاً محفظه ورودی مبنا را خلأ نموده و آن را مسدود می‌نمایند.)

¹ pyrometer

² filament

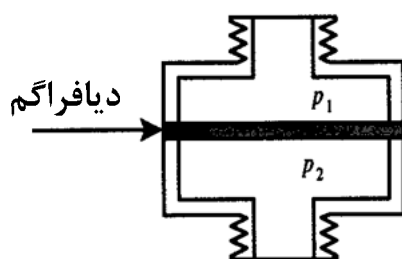
- روش عمده دیگر تعریف فشار، فشار گیج است. فشار گیج از فشار محیط به عنوان مبنا استفاده می کند. (در فشارسنج های گیج ورودی مبنا را باز می گذارند تا تحت فشار محیط واقع شود).
- نوع سومی از فشارسنج ها اجازه می دهد که ورودی مبنا را به هر فشار دلخواهی متصل کنیم.

فشار (نیرو در واحد سطح) با واحد N/m^2 که معمولاً پاسکال (Pa) بیان می شود. واحد انگلیسی فشار lb/in^2 است ($psia$ برای فشار مطلق، $psig$ برای فشار گیج و $psid$ برای اختلاف فشار خوانده می شود). جدول زیر واحد های مختلف فشار و ارتباط بین آن ها را به خوبی نشان می دهد. فشار عموماً به صورت تابعی از جابجایی اندازه گیری می شود.

designation	psi	kPa	kg/cm ²	cm of H ₂ O	feet of H ₂ O	inches of Hg	mm of Hg	inches of H ₂ O	ounces per square inch	atmospheres	bar	mbar	Mpa
psi	1	6.894757	.070306958	70.306927	2.306723	2.03602	51.71486	27.68068	16	.068046	.06894757	68.9476	.00689
kPa	.1450377	1	.01019716	10.19745	.3345618	.2952997	7.50061	4.01472	2.320603	.009869235	.01	10	.001
kg/cm ²	14.223343	98.06694	1	1000.026	32.809312	28.95901	735.5588	393.711806	227.57349	.967841596	.98066494	1013.25	.09806
cm of H ₂ O	.0142229	.0980634	.00099997	1	.032808	.0289581	.7355372	.3937	.227566	.000967814	.000980634	.9806	.00098
feet of H ₂ O	.433515	2.988961	.03047912	30.48	1	.882646	22.4192	12	6.93624	.02949896	.02968961	29.689	.00298
inches of Hg	.4911542	3.386389	.0345316	34.53253	1.132957	1	25.4	13.595484	7.85847	.0334211	.03386389	33.8639	.00386
mm of Hg	.0193368	.1333225	.00135951	1.359554	.0446046	.039370079	1	.535255	.3093888	.0013157895	.001333225	1.33322	.00013
inches of H ₂ O	.03612628	.2490819	.00254219	2.54	.08333	.0735539	1.8682683	1	.57802	.00245825	.002490819	2.49089	.000249
ounces per square inch	.0625	.4309223	.004394308	4.394308	.14417	.12725125	3.23218	1.73004	1	.004252875	.004309223	4.309	.0004309
atmospheres	14.696	101.32535	1.033231	1033.2633	33.8995	29.9213	760	406.794	235.136	1	1.0132535	1013.25	.1013
bar	14.5038	100	1.019716	1019.7466	33.4833	29.53	750.0626	401.8596	232.0608	.986923	1	1000	0.1
mbar	0.0145	0.1	.001019	1.019	.003456	0.02953	0.75006	0.40146	.23206	0.00099	0.001	1	.0001
Mpa	145.0377	1000	10.197	10197.45	334.56	295.299	7500.61	4014.74	2320.603	9.869	10	10000	1

1- دیافراگم های مبتنی بر استرین گیج:

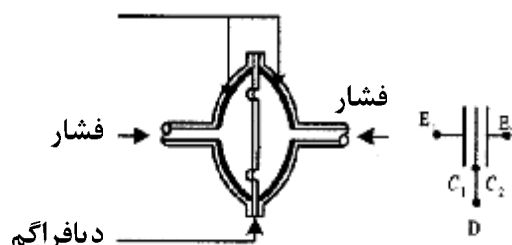
در این نوع فشارسنج ها، مقاومت تفاضلی با اعمال ولتاژ ثابت به پل اندازه گیری می شود. جابجایی دیافراگم باعث ایجاد خروجی آنالوگ (میلی ولت) متناسب با فشار خواهد شد. علاوه بر قیمت کم و دقت مناسب، سنسورهای فشار مبتنی بر استرین گیج، دارای پایداری حرارتی خوبی بوده و می توان آن ها را با مواد ضد خوردگی نیز پوشاند.



39-2: دیافراگم های مبتنی بر استرین گیج

2- فشارسنج های خازنی:

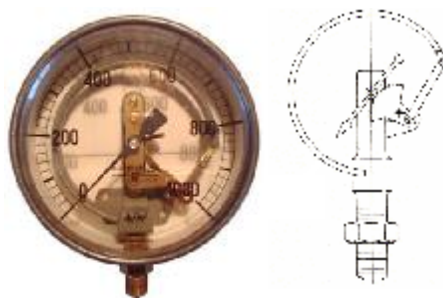
برای سنجش فشار از طریق جابجایی، باید مبدل جابجایی به سیگنال بسیار حساس باشد. برای این کار یکی از صفحات خازن را به عنوان دیافراگم انتخاب می کنند.



40-2: فشارسنج های خازنی

3- فشارسنج های دارای لوله بردون¹:

در فشارسنج های دارای لوله بردون، لوله روی یک منحنی نرم تا 180 درجه خم می شود. این موضوع باعث بیشتر شدن سطح خارجی منحنی نسبت به سطح داخلی آن می شود. اعمال فشار داخل لوله، باعث وارد آمدن نیروی بیشتری نسبت به سطح خارجی شده و باعث صاف شدن لوله می گردد. مقدار این جابجایی با فشار متناسب است.



41-2: فشارسنج های دارای لوله بردون

2-2-6- سنسورهای اندازه گیری جریان سیال:

جریان سیال (دبی) بیانگر سرعت حرکت آن می باشد. جریان سیال به سه صورت جریان حجمی، جرمی و سرعت سیال تعریف می شود. جریان حجمی (Q) نشان می دهد که چه حجمی از یک ماده متحرک در واحد زمان در حال عبور از نقطه مورد نظر

¹ Bourdon Tube

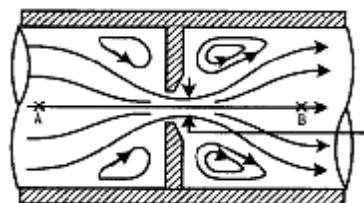
است. واحد این نوع جریان سیال m^3/s می‌باشد. جریان جرمی (Q_m) به صورت واحد جرم بر زمان (kg/s) است. سرعت مواد معمولاً سرعت جریان (Q_v) خوانده شده و بر حسب m/s نمایش داده می‌شود.

در حالت کلی، سنسورهای جریان به دو گروه تقسیم می‌گردند. در گروه اول، یک مانع در مسیر جریان قرار داده شده و از انرژی جریان برای تولید یک اثر قابل اندازه‌گیری استفاده می‌کنند. گروه دوم سنسورهای بدون مانع هستند که از تکنیک‌های الکترومغناطیسی و ماورای صوت در آن‌ها استفاده شده است.

1- دبی سنج صفحه سوراخ‌دار¹:

یک صفحه سوراخ‌دار با یک سوراخ در مرکز آن، در مسیر جریان یک خط قرار داده می‌شود. افت فشار در دو طرف صفحه به وسیله سنسور فشار تفاضلی، اندازه‌گیری می‌شود.

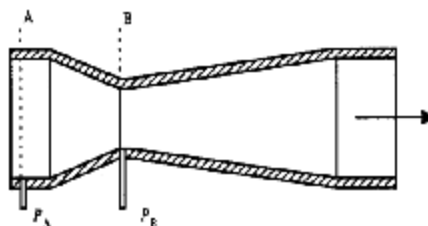
$$Q = k\sqrt{P_2 - P_1}$$



42-2: صفحه سوراخ‌دار

2- دبی سنج ونچوری²:

در روش ونچوری، بجای وجود سد ناگهانی در مسیر جریان، قطر لوله کم‌کم کاهش و سپس افزایش داده شده است. رابطه بین جریان و اختلاف فشار، مشابه صفحه سوراخ‌دار است. از آنجاکه مانع ناگهانی وجود ندارد، لوله کمتر گیر خواهد کرد، همچنین فشار در لوله خروجی خیلی نزدیک به فشار ورودی است. خطای اندازه‌گیری این وسیله از صفحه سوراخ‌دار کمتر است.



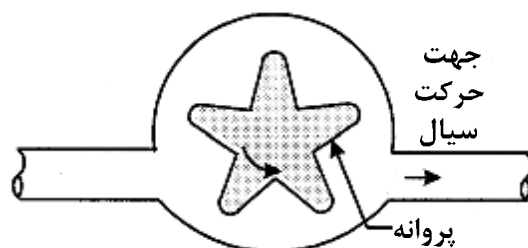
43-2: ونچوری

3- دبی سنج توربینی:

با قرار دادن یک پروانه کوچک در مسیر سیال و اندازه‌گیری سرعت چرخش پروانه آن می‌توان به خوبی جریان سیال را اندازه گرفت.

¹ Orifice Plate

² Venturi



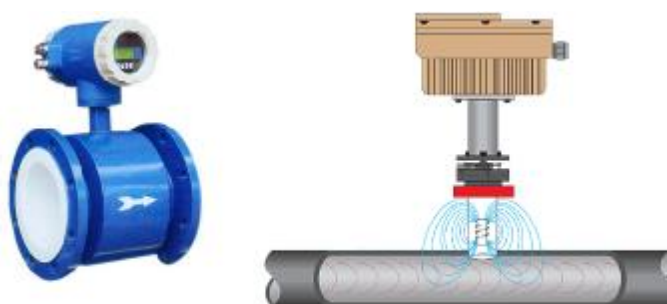
2-44: دبی سنج توربینی

4- دبی سنج مغناطیسی:

هر گاه یک قطعه هادی به طول L در یک میدان مغناطیسی با چگالی B و سرعت v حرکت نماید، ولتاژ القا شده در آن عبارت است از:

$$emf = kBLv$$

که در آن k ضریب تناسب است. از این خاصیت جهت تعیین سرعت سیالات استفاده می‌شود. اگر در اطراف قسمتی از لوله یک بوبین مغناطیسی قرار گیرد، در اثر عبور جریان الکتریکی در این سیم‌پیچ میدان مغناطیسی ایجاد شده که در اثر قطع سیال (که باید هادی باشد) می‌توان در مدار دیگری یک جریان الکتریکی که با سرعت سیال متناسب است ایجاد نمود. از این وسیله می‌توان برای اندازه‌گیری سرعت سیالاتی که شامل اجسام معلق هستند استفاده نمود.



2-45: دبی سنج مغناطیسی

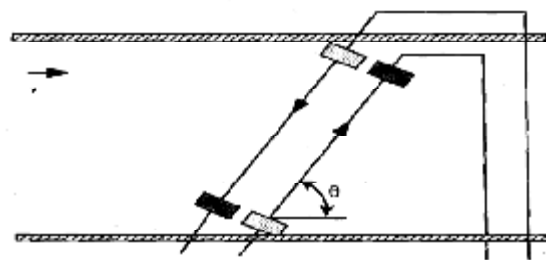
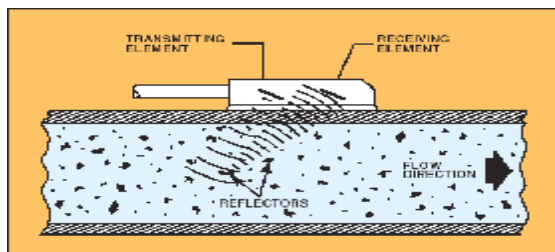
5- دبی سنج آلتراسونیک:

استفاده از روش آلتراسونیک در سنجش جریان سیالات، علاوه بر داشتن محاسن دبی سنج مغناطیسی معایب آن را نیز ندارد. عدم احتیاج به سیال هادی جریان و لوله‌ای با جنس مخصوص در محل اندازه‌گیری که این امر هم از نظر قیمت و هم از نظر ایمنی بسیار مناسب است.

در دبی سنج آلتراسونیک، از مقایسه اختلاف فرکانس بین موج ارسالی و موج دریافت شده در گیرنده استفاده می‌شود. این اختلاف فرکانس در برخورد با هر نوع جداساز استفاده می‌شود. این جداسازی می‌تواند توسط ذرات معلق در سیال و یا حباب‌ها و گازهای موجود در آن انجام شود.

$$v = \frac{c(f_1 - f_2)}{2f \cos q}$$

در این رابطه c سرعت صوت در سیالات و q زاویه بین موج ارسالی و دریافتی با مسیر جریان در لوله است.



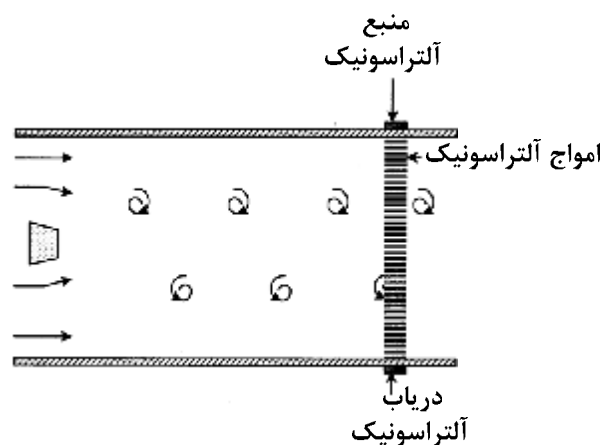
2-46: دبی سنج آلتراسونیک

6- دبی سنج لیزری:

این نوع دبی سنج مستقیماً جریان سیالاتی که حاوی ذرات معلق باشند را اندازه می‌گیرد. نور از یک لیزر توسط سیستم نوری در نقطه‌ای متمرکز می‌شود. حرکت ذرات باعث تغییر داپلر نور پراکنده می‌شود و سیگنال ایجاد شده در یک آشکارساز نوری باعث اندازه‌گیری دبی خواهد شد.

7- دبی سنج گردابی¹:

در دبی سنج گردابی، از مانعی در مسیر طبیعی دبی برای ایجاد ضربان در جریان سیال استفاده می‌کند. ضربانها وقتی تولید می‌شوند که بطور متناسب گرداب‌هایی در یک طرف مانع شکل گرفته و به همان طرف مانع بریزند و سپس در طرف دیگر این مانع این عمل تکرار می‌شود. ضربان‌های حاصله توسط یک کریستال پیزوالکتریک حس می‌شوند. فرکانس پالسها یا ضربانها بطور مستقیم با سرعت سیال متناسب بوده و در نتیجه مبنایی برای یک دبی سنج حجمی ایجاد می‌کنند.



2-47: دبی سنج گردابی

2-2-6- سنسورهای اندازه‌گیری سطح سیال:

سطح یا عمق مواد و مایعات در فشار و نیز سرعت جریان سیال (دبی) در داخل و خارج از مخزن موثر بوده و این کمیات را تحت تأثیر قرار خواهد داد. به طور کلی در صنعت روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری سطح به کار می‌رود ولی اکثراً روش‌های به کار گرفته شده در محدوده یکی از روش‌های زیر عمل می‌کنند:

1. تعیین سطح مخازن با اندازه‌گیری فشار هیدرواستاتیک

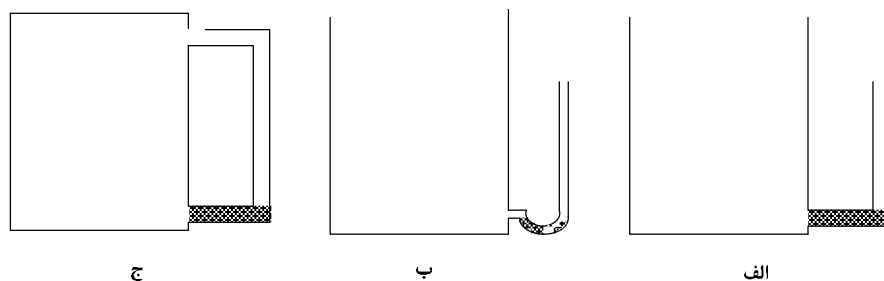
¹ Vortex Flow-meters

2. تعیین سطح مخازن با اندازه‌گیری اختلاف فشار
3. تعیین سطح مخازن با اندازه‌گیری حرکت شناور
4. تعیین سطح مخازن با استفاده از اندازه‌گیری تغییر کمیات الکتریکی
5. تعیین سطح مخازن با استفاده از جذب اشعه
6. تعیین سطح مخازن با استفاده از خواص انتقال حرارت

برای تعیین سطح مایعات درون مخازن، یک روش دستی وجود دارد که در آن با استفاده از میله و یا نوار فلزی متصل به بدنه ای که در مخزن فرومی‌کنند می‌توانند سطح یا عمق مایعات را اندازه بگیرند. البته می‌توان میله اندازه‌گیر را در مخزن به طور ثابت قرارداد و با استفاده از روش انعکاس نور قسمت مرطوب شده آن را اندازه گرفت. سطح مایعات غلیظ را می‌توان با نصب شیرهایی در ارتفاع‌های مختلف و باز کردن آن‌ها از بالا به طرف پایین اندازه‌گیری نمود.

1- اندازه‌گیری سطح مایعات با استفاده از آب‌نما

این روش که به طور پیوسته سطح مایع را نشان می‌دهد (شکل 2-48-الف)، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تعیین سطح مایعات درون مخازن می‌باشد. برای کم کردن طول لوله آب‌نما می‌توان از یک مایع سنگین نظیر جیوه (شکل 2-48-ب)، استفاده کرد. اگر مخزنی که مایع اصلی در آن است تحت فشار باشد، انتهای آب‌نما نمی‌تواند آزاد باشد و باید (شکل 2-48-ج) به مخزن متصل باشد. در این روش اندازه‌گیری معمولاً از شیرهای اتصال که همیشه در حالت عادی باز هستند استفاده می‌شود.



2-48: اندازه‌گیری سطح مایعات با استفاده از آب‌نما

در برخی از طرح‌های آب‌نما از خصوصیات خاصی جهت تشخیص سریع سطح مایع استفاده می‌گردد. مثلاً در برخی از دیگ‌های بخار ممکن است سطح تقریبی آب درون دیگ مطرح باشد و نه سطح دقیق آن که در چنین حالتی می‌توان از آب‌نمایی که با استفاده از خاصیت اپتیکی و یا تغییرات رنگ کار می‌کند، استفاده نمود. این نوع آب‌نما به که آب‌نمای انعکاسی معروف است از شیشه‌ای که یک طرف آن شیاردار و طرف دیگرش صاف تراشیده شده ساخته شده است. لیکن در قسمتی از شیشه که با گاز یا هوا تماس دارد، نور تابیده شده پس از شکست دوباره به موازات اشعه تابش مراجعت می‌کند و سبب می‌شود که این قسمت از شیشه رنگ شفاف داشته باشد، لیکن قسمتی که شیشه که تماس با مایع است نور تابیده شده کمی انحراف پیدا کرده و وارد مایع می‌گردد و در نتیجه این قسمت از شیشه تیره و کدر دیده می‌شود.

در موارد خاصی که شرایطی مانند فشار فرآیند، جنس مایع فرآیند، ممکن است کدر کننده شیشه آب‌نما باشد و یا ذرات معلق در سیال فرآیند و غیره ایجاب می‌کند که هیچ‌گونه تماسی بین سیال فرآیند و نشان‌دهنده چشمی نباشد، از آب‌نمایی نظیر آنچه که در شکل 2-49 نشان داده شده است استفاده گردد.



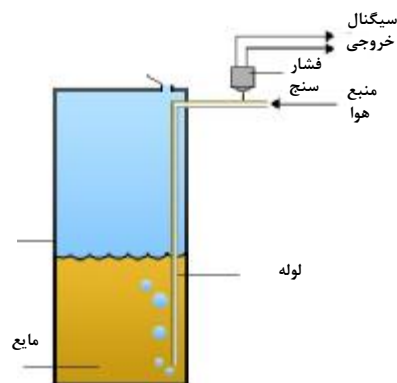
2-49: اندازه‌گیری سطح مایعات با استفاده از آب‌نما

2- اندازه‌گیری سطح مایعات از طریق سیستم دمنده هوا:

با توجه به اینکه ستون مایع واقع بالای هر نقطه، یک فشار هیدرولیکی در آن نقطه ایجاد می‌کند که این فشار نیز مستقیماً به ارتفاع ستون مایع و وزن مخصوص آن بستگی دارد، لذا با وارد کردن لوله‌ای مطابق شکل 2-50 تا نزدیکی انتهای مخزن و دمیدن در آن، فشاری که باعث راندن هوا تا انتهای لوله و خروج حباب‌های هوا از آن و از مخزن می‌گردد، سطح مایع درون مخزن را مشخص می‌کند. این سطح از رابطه

$$h = \frac{P}{r g}$$

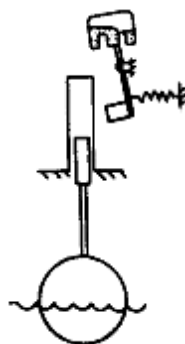
بدست می‌آید که در آن r چگالی سیال و g شتاب ثقل است.



2-50: اندازه‌گیری سطح مایعات با استفاده از دمنده هوا

3- اندازه‌گیری سطح با شناور:

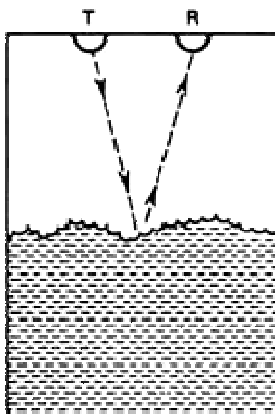
سطح مایعات درون مخازن به‌خصوص مخازن روباز یا مخازنی که تحت فشار نیستند را می‌توان با استفاده از شناور مشخص نمود. میله مربوط به شناور در اثر تغییر سطح مایع حرکت کرده و این حرکت می‌تواند توسط پتانسیومتر، چرخ‌دنده و یا هر مکانیزم دیگری به اندازه‌گیر منتقل و قرائت گردد. این روش به چگالی سیال حساس نمی‌باشد اما ناآرامی مایعات ممکن است مشکلاتی را در اندازه‌گیری سطح آن‌ها ایجاد کند.



2-51: اندازه‌گیری سطح مایعات با استفاده از شناور

4- اندازه‌گیری سطح سیال با استفاده از امواج صوتی:

به منظور تعیین سطح مایع درون مخازن می‌توان از دستگاهی که با امواج صوتی کار می‌کند استفاده نمود. ارتفاع سنج‌های ماورای صوت، از بالا یا انتهای مخزن امواجی را به سطح مایع ارسال می‌نمایند. امواج صادره از فرستنده در اثر برخورد با سطح سیال متفاوت (مایع و هوا) منعکس شده و امواج منعکس شده توسط گیرنده ضبط می‌گردند. زمان رفت و برگشت امواج مشخص‌کننده سطح مایع می‌باشد. این نوع از سطح سنج‌ها برای سنجش اختلاف سطح بین دو مایع مناسب است.



2-52: اندازه‌گیری سطح مایعات با استفاده از امواج صوتی

بخش سوم: شیرهای کنترلی

3 بخش سوم: شیرهای کنترلی

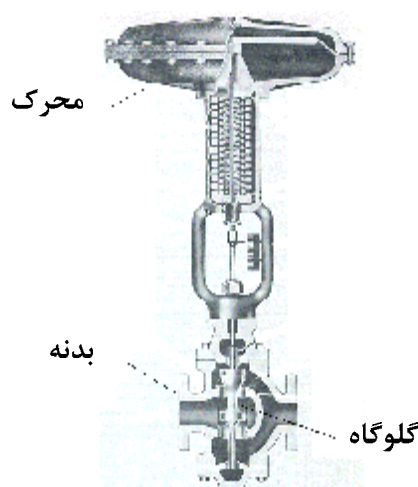
3-1- مقدمه:

شیر کنترل یکی از اجزای مورد نیاز اکثر فرآیندهای صنعتی¹ می باشد که وظیفه آن تنظیم² جریان سیال در مسیر لوله بر طبق کمیت فیزیکی که مورد سنجش است (مثلا سنجش، جریان سیال، سطح فشار، درجه حرارت، میزان PH و...) بوده و یا وظیفه قطع و وصل³ نمودن جریان سیال در یک مسیر را به عهده دارد.

3-2- ساختمان شیر کنترل:

با توجه به شکل 3-1 هر شیر کنترلی دارای سه جز اصلی به قرار زیر می باشد:

- **محرك:** محرك⁴ در حقیقت مکانیزمی است که سیگنال (فرمان) خروجی از کنترلر (تنظیم کننده) را به حرکتی که توپی⁵ شیر را در موقعیتی مناسب آن سیگنال قرار دهد، تبدیل می کند.
- **گلوگاه شیر:**⁶ این قسمت شامل قطعات جدا پذیر شیر است که در تماس با سیال می باشند.
- **بدنه:**⁷ این قسمت شامل یک یا چند نشیمنگاه⁸ و مجراهایی هست که سیال از میان آن ها عبور می کنند.



شکل 3-1: ساختمان یک شیر کنترلی

3-2-1- بررسی انواع محرك:

محرك مکانیزمی هست که توسط آن ساق شیر به حرکت در می آید. محرك به طور مرتب فرمان متغیری را یا به طور مستقیم (از کنترلر) و یا به طور غیرمستقیم (از یک تقویت کننده جریان و یا پوزیشنر¹) دریافت می کند و نسبت به میزان فرمان، ساق شیر را در موقعیت مناسب خود قرار می دهد و بدین وسیله کنترل فرآیند صورت می گیرد.

¹ Industrial Processes

² Regulating

³ Shutting off

⁴ Actuator

⁵ Plug

⁶ Valve Trim

⁷ Body

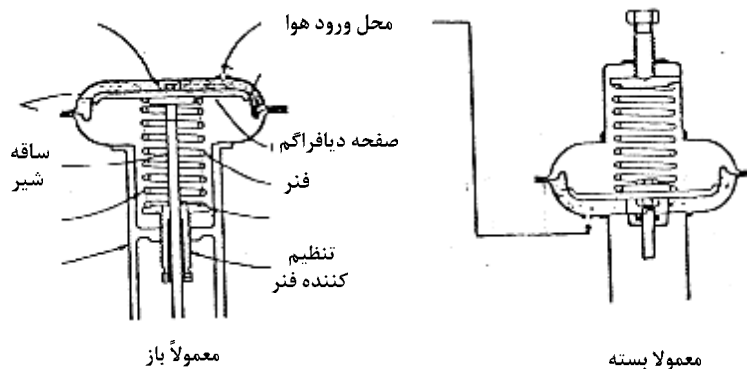
⁸ Seat

برخی از مؤلفین اصولاً شیرها و محرک‌ها را جمعاً به صورت واحد مورد بررسی قرار می‌دهند اما هر چند در اکثر مواقع شیرها و محرک‌ها در کنار هم در سیستم‌های کنترل به کار می‌روند، لیکن به علت وجود ویژگی‌های متفاوت از هم به طور مستقل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. محرک شیرهای کنترل ممکن است با منبع تغذیه بادی (انرژی هوای فشرده)، یا هیدرولیکی و یا الکتریکی عمل کنند. استفاده از هوای فشرده به صورت منبع انرژی بین دستگاه کنترل و شیر از نظر رعایت ایمنی و سرعت عمل نیز مناسب می‌باشد. درحالی‌که نیروی هیدرولیکی (فشار روغن) برای فواصل کم و همچنین سیستم‌هایی که به اعمال قدرت زیاد نیازمندند، مورد استفاده قرار می‌گیرد و فاقد ایمنی لازم می‌باشد.

1- محرک‌های نیوماتیکی:

محرک‌های نیوماتیکی² (بادی) انواع مختلفی دارند که متداول‌ترین آن‌ها، دو نوع دیافراگمی و سیلندر و پیستونی می‌باشد.

- نحوه عملکرد محرک نیوماتیکی از نوع دیافراگمی: این نوع ساده‌ترین و آسان‌ترین نوع از جهت نصب می‌باشد. از این رو به طور معمول بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیافراگم به کاررفته از نوع لاستیکی و قابل ارتجاع می‌باشد و در درون یک محفظه که از دو قسمت تشکیل شده است قرار می‌گیرد و بر روی سطح تحتانی دیافراگم یک صفحه فلزی قرار داد که ساق شیر به آن متصل است. فشار هوا بر دیافراگم اثر گذاشته و بالطبع این جابجایی از طریق صفحه زیر دیافراگم به ساق شیر منتقل می‌شود و در صورت کاهش یا قطع سیگنال هوا، دیافراگم توسط نیروی فنر به موقعیت اصلی خود بر می‌گردد. شیرهایی که با این نوع محرک به کار می‌روند برحسب این که در حالت عادی باز و یا بسته باشند، به دو گروه تقسیم می‌گردند: آن دسته شیرها که در حالت معمولی باز هستند و با اعمال ورودی بسته می‌شوند و به معمولاً باز³ معروف هستند. چنانچه به هر دلیلی فشار هوای روی دیافراگم آن‌ها قطع شود، این شیرها باز می‌شوند، ولی آن دسته از شیرها که در حالت معمولی بسته هستند و با اعمال ورودی باز می‌شوند، به نام معمولاً بسته⁴ معروف‌اند. چنانچه به هر دلیلی فشار هوای روی دیافراگم آن‌ها قطع شود، این شیرها بسته می‌مانند.



شکل 2-3: شیرهای نوع معمولاً باز و معمولاً بسته

لازم به تذکر است که اصطلاح عملکرد مستقیم و معکوس نیز در مورد محرک‌های نیوماتیکی از نوع دیافراگمی در بین کارخانه‌های سازنده این نوع محرک‌ها بسیار مصطلح می‌باشد.

¹ پوزیشنر وسیله‌ای است که در ارتباط با شیر کنترل و جهت تنظیم آن نصب می‌شود. در حقیقت یک سرو مکانیزم است و از طرفی یک رله تقویت کننده است که فرمان صادره از کنترل کننده را تقویت کرده و به محرک منتقل می‌کند.

² Pneumatic Actuators

³ Normally open/Air to Close

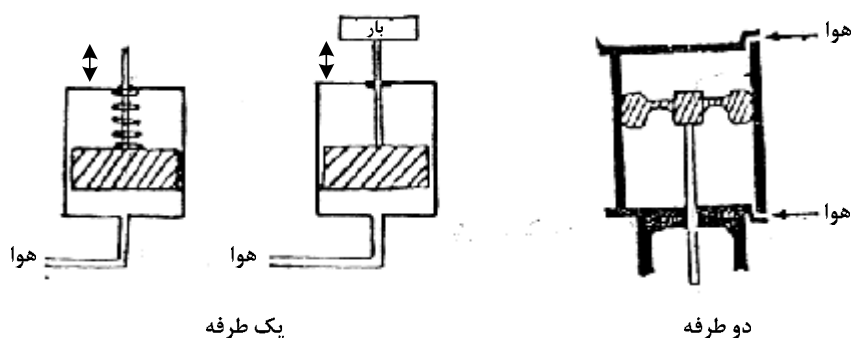
⁴ Close Normally/Air to Open

انتخاب هر یک از دو نوع مذکور، منوط به جنبه‌های ایمنی و محل نصب شیر دارد. از جنبه ایمنی به‌عنوان مثال، اگر شیر کنترلی را در مسیر جریان سوخت کوره‌ها در نظر بگیریم، حتماً باید از نوع «معمولاً بسته» باشد تا در هنگام قطع ناگهانی هوا، شیر بتواند جریان سوخت را به درون کوره قطع و از انفجار کوره و صدمات و خسارات ناشی از آن جلوگیری به عمل آورد. همچنین اگر شیر کنترلی را در مسیر جریان مایعی که از میان یک مبدل حرارتی عبور می‌کند، در نظر بگیریم (با توجه به آنکه هدف از به‌کار بردن مبدل حرارتی خنک کردن مایع باشد)، باید شیری از نوع «معمولاً باز» استفاده نمود تا در صورت قطع تغذیه هوای فشرده و یا به هر دلیلی که سیستم نتواند به طور مناسب عمل نماید شیر باز بماند و از خطر انجماد مایع و از بین رفتن تأسیسات جلوگیری نماید.

همچنین از جهت محل نصب شیر به یک تأسیسات، به‌عنوان مثال در مورد یک مخزن که محتوی مایع آتش‌زا است، با توجه به این که شیر کنترل در مسیر جریان ورودی به داخل مخزن و یا در مسیر خروجی از مخزن قرار داشته باشد، نوع آن متفاوت خواهد بود. در صورتی که در مسیر ورودی به مخزن قرار داشته باشد، در هنگام قطع ناگهانی باید بسته بماند تا از ورود مایع اضافی به مخزن و سر ریز شدن آن ممانعت نماید از این‌رو باید از نوع «معمولاً بسته» باشد؛ اما در صورتی که شیر در مسیر خروجی مخزن قرار داشته باشد، در هنگام قطع ناگهانی هوا باید باز بماند تا مایع درون مخزن تخلیه و از بروز آتش‌سوزی‌های احتمالی جلوگیری شود. از این‌رو باید شیر از نوع «معمولاً باز» انتخاب گردد.

باید خاطرنشان ساخت که نکته فوق‌الذکر در طراحی تأسیسات پالایشگاه‌های نفت و نیروگاه‌های حرارتی مدنظر قرار می‌گیرد؛ زیرا در صورت بروز آتش‌سوزی احتمالی در یک مخزن، اگر شیر از نوع «معمولاً باز» در خروجی سایر مخازن نصب شده باشد، سوخت موجود در مخازن تخلیه شده و از سرایت حریق به آن‌ها جلوگیری می‌گردد.

- **نحوه عملکرد محرک نیوماتیکی از نوع سیلندر و پیستونی:** این نوع محرک دارای مکانیزم بسیار ساده‌ای می‌باشد و در دو نوع یک طرفه¹ و در دو طرفه² طراحی و ساخته می‌شود.



شکل 3-3: شیرهای نوع یک طرفه و دو طرفه

در نوع یک طرفه، بازوی محرک که متصل به پیستون است در اثر ورود هوا به یک وجه پیستون، پیستون را به سمت راست و چپ و یا بالا و پایین حرکت داده و عمل لازم را انجام می‌دهد و برگشت آن در اثر نیروی فنر و یا بار موثر روی آن انجام می‌گیرد. در نوع دو طرفه، فشار ثابتی بر یک وجه پیستون در داخل سیلندر اعمال می‌شود و به وجه دیگر پیستون سیگنال کنترل تقویت شده ای اعمال می‌گردد و با ایجاد نیرو به واسطه اختلاف فشار موجود، پیستون در داخل سیلندر می‌تواند حرکت کند و بالطبع ساق شیر را که به آن متصل است حرکت دهد، این نوع محرک برای شیرهای با اندازه‌های بزرگ و یا شیرهای تک دروازه‌ای (خصوصیات این نوع شیر در مباحث بعدی بررسی خواهد شد) که نیاز به اعمال نیروی زیاد دارند به‌کار می‌رود و دارای این مزیت است که با وجود یک رله حفاظتی در مواقع حساس، سیگنال کنترل قطع شده و پیستون با توجه به فشار ثابتی که بر یک وجه آن اعمال می‌شود، شیر را بسته و از بروز حادثه جلوگیری می‌نماید.

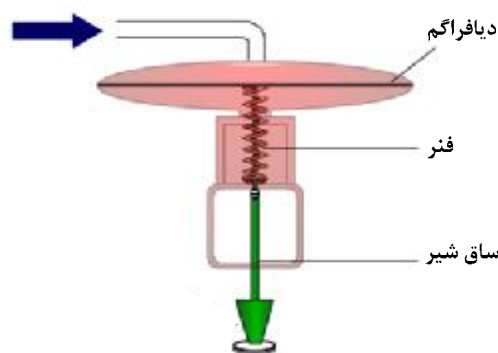
¹ single Acting

² Double Acting

2- محرک‌های هیدرولیکی:

محرک‌های هیدرولیکی¹ نیز عموماً به صورت دیافراگمی و سیلندر و پیستونی در صنعت به کار می‌روند که به شرح هر یک از آن‌ها می‌پردازیم:

- نحوه عملکرد محرک هیدرولیکی از نوع دیافراگمی: این نوع محرک دارای مکانیزم بسیار ساده‌ای می‌باشد. چنانچه در شکل 3-4 مشخص هست، روغن تحت فشار از طریق لوله‌ای به محفظه فوقانی دیافراگم وارد و میله متصل شده به دیافراگم را به طرف پایین حرکت می‌دهد. فنر برگشت در قسمت تحتانی دیافراگم پس از رفع فشار دیافراگم را به حالت اول خود بر می‌گرداند.



شکل 3-4: شیرهای هیدرولیکی از نوع دیافراگمی

- نحوه عملکرد محرک هیدرولیکی از نوع سیلندر و پیستونی: یکی از معمولی‌ترین محرک‌های هیدرولیکی، نوع سیلندر و پیستونی آن می‌باشد. این نوع محرک‌ها نیز در دو نوع یک طرفه و دو طرفه ساخته می‌شوند و عملکرد هر دو نوع محرک مشابه عملکرد محرک‌های نیوماتیکی از نوع سیلندر و پیستونی می‌باشد. تنها با این تفاوت که به جای اعمال فشار هوا، فشار روغن بر پیستون اعمال می‌شود.
- در شکل 3-5 محرک هیدرولیکی سیلندر و پیستونی از نوع یک طرفه نشان داده شده است. در این نوع در اثر ورود روغن بر یک وجه پیستون، حرکت پیستون به سمت راست و چپ یا بالا و پایین تحقق خواهد گرفت نتیجتاً عمل لازم صورت می‌پذیرد و برگشت پیستون در اثر نیروی فنر یا بار موثر روی آن انجام می‌گیرد (مانند جک های هیدرولیکی).



شکل 3-5: محرک هیدرولیکی سیلندر و پیستونی از نوع یک طرفه

در شکل 3-6، ساختمان و طرز کار محرک هیدرولیکی دو طرفه با شیر فرمان² نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود و حرکت عمودی محور P می‌تواند سه وضعیت را به وجود آورد:

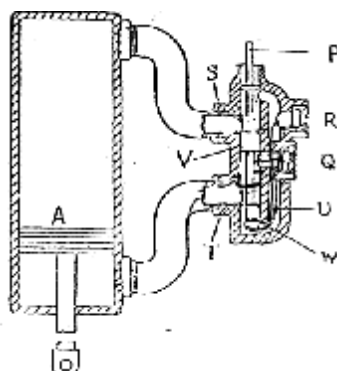
الف) محور P در پایین‌ترین نقطه: مجرای S به ورودی R و مجرای T به خروجی Q مربوط می‌شود و در این وضعیت پیستون A شروع به حرکت به سمت پایین خواهد نمود.

ب) محور P در بالاترین نقطه: مجرای S به خروجی Q و مجرای T از طریق کانال ارتباطی U به ورودی R مربوط می‌شود و در این وضعیت پیستون A شروع به حرکت به سمت بالا خواهد نمود.

¹ Hydraulic Actuators

² Pilot valve

ج) محور P در وسط: مجرای S به وسیله دریچه V و مجرای T به وسیله دریچه W مسدود شده است و پیستون A متوقف خواهد شد.



شکل 3-6: محرک هیدرولیکی سیلندر و پیستونی از نوع دو طرفه

لازم به تذکر است که در هر نوع محرک سیلندر و پیستونی یک طرفه و دو طرفه، سرعت حرکت پیستون با جریان (دبی) ورودی به داخل سیلندر متناسب است، ضمناً نیروی موثر نیز با فشار ورودی و سطح پیستون متناسب می‌باشد. یکی از موارد کاربرد محرک‌های سیلندر و پیستونی در کنترل توربین‌های بخار می‌باشد که با مراجعه به نقشه کنترل این نوع توربین‌ها عملکرد محرک‌ها مشخص می‌گردد.

3- محرک‌های الکتریکی:

محرک‌های الکتریکی¹ انواع مختلفی دارد که بر حسب کاربرد آن و تطابق با خروجی کنترل تقسیم‌بندی می‌شوند:

- محرک کلیدی² که به صورت مکانیکی یا الکتریکی توسط یک کنترلر قطع و وصل تحریک می‌گردد. محرک می‌تواند دو مسیری³ با باند مرده⁴ یا بدون آن باشد. اگر کلید توسط کنترلر تناسبی انتگرالی (PI) تحریک گردد، در آن صورت می‌توان نسبت به زمان قطع به وصل، رله را تغییر داد.
- کنترلری که بخش خروجی آن جریان باشد، برای تحریک، جریان مستقیم متناسب با خروجی مورد نظر تولید می‌نماید. این کنترلر تناسبی - انتگرالی (PI) بوده و گاهی شامل مشتق‌گیر (PID) نیز می‌باشد. در این نوع کنترلر در صورت افت قدرت، محرک الکتریکی، شیر را در مکانی که مربوط به جریان صفر می‌باشد نگاه می‌دارد که در این صورت شرایط اطمینان از عملکرد حاصل می‌گردد.
- محرک‌های دو مکانه یا رله‌های دو گانه⁵ بگونه‌ای در کنترلر به هم مرتبط شده‌اند تا از تغذیه همزمان دو میدان موتور جلوگیری شود، تحریک آن‌ها توسط کنترلر قطع و وصلی به صورت مکانیکی یا الکتریکی صورت می‌گیرد. کنترلر می‌تواند تناسبی - انتگرالی (PI) بوده و شامل مشتق‌گیر (PID) نیز باشد. در این حالت نیز در صورت افت قدرت در کنترلر موتور در محل نهایی خود قرار می‌گیرد.

محرک‌های الکتریکی را به دو گروه اصلی تقسیم می‌نمایند:

¹ Electrical Actuators

² Single Relay

³ Double - Throw

⁴ Dead band

⁵ Dual Relay

1- محرک‌های دوگانه: (سلونوئید - رله)

2- محرک‌های مکان نامحدود: (راه‌اندازهای موتور الکتریکی دو جهت - رآکتور هسته قابل اشیاء - یکسو سازی سیلیکون کنترل شده (S.C.R) - راه‌اندازی موتور الکتریکی سرعت متغیر - مبدل الکترونیوماتیکی)

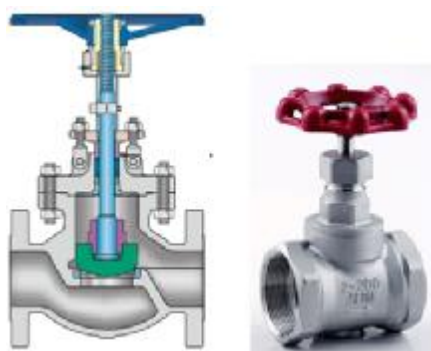
3-2-2- تقسیم‌بندی شیرها با توجه به نوع پلاگ (توپ) و حرکت آن‌ها:

متغیرها بر حسب نوع حرکت توپی آن‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند. شیرهایی که حرکت توپی در آن‌ها طولی است و شیرهایی که حرکت توپی آن‌ها دورانی است.

الف) شیرهایی که حرکت توپی در آن‌ها طولی است:

توپی اکثر شیرهای مورد استفاده در صنعت دارای حرکت طولی است و به‌صورت کلی یک دروازه‌ای¹ یا دو دروازه‌ای² ساخته می‌شوند. البته ساختمان و شکل ظاهری بدنه آن‌ها می‌تواند به‌صورت‌های متنوع (دو تکه، سه راه و زانویی) نیز ساخته شود و ذیلاً به بررسی برخی از انواع آن می‌پردازیم:

1- شیر گلاب یا کروی: توپی این نوع شیر به‌صورت دیسکی و یا مخروطی بوده و دقیقاً در جهت محور نشیمنگاه حرکت طولی دارد و با توجه به نشیمنگاه حلقه‌ای آن، توپی بر روی نشیمنگاه منطبق می‌گردد.



شکل 3-7: شیر گلاب

شیر گلاب³ از معروف‌ترین شیرها در کاربردهای صنعتی به حساب می‌آید و برای فشار و درجه حرارت بالا مناسب است. در این نوع شیرها افت فشار بیشتری نسبت به سایر شیرها وجود دارد و با باز بودن آن به طور کامل یا جزئی، جریان سیال به طور قابل ملاحظه‌ای انحراف می‌یابد.

2- شیر سیلندر - پیستونی یا قفسی⁴: مشخصات مختلفی نظیر حجم بودن سیلندر (قفس)، هدایت همراه با متعادل بودن فشار قوی بر روی توپی (پیستون) شیر و نیز توزیع جریان یکنواخت سیال به وسیله دریچه‌های سیلندر باعث گردیده است که این شیر دارای مزایای زیر باشد:

- کاهش اصطکاک
- احتیاج به محرک ضعیف‌تر

¹ Single – Seated or Port

² Double- Seated or Port

³ Globe Valve

⁴ Cages Valve

- بهبود قابل ملاحظه در پایداری جریان سیال

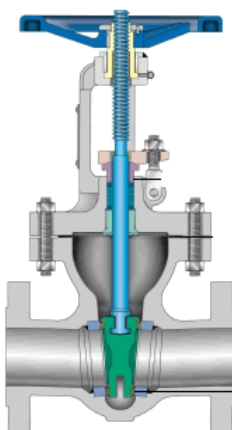
برای تعمیرات این شیر احتیاج به جدا کردن مجموعه شیر از مسیر سیال نبوده و فقط با باز کردن قسمت بالای شیر می توان به داخل بدنه شیر دسترسی پیدا نموده و تعمیرات لازم را به عمل آورد.



شکل 3-8: شیر سیلندر-پیستونی یا قفسی

ضمناً وضعیت قرار گرفتن سیلندر و پیستون در محل نشیمنگاه خود دقیق تر از انواع دیگر شیرها بوده و در نتیجه دارای قابلیت بیشتر برای تنظیم میزان جریان می باشد و به همین دلیل این شیر احتیاج به پوزیشنر ندارد. این نوع شیر که در نوع یک دروازه ای ساخته می شود دارای مشخصاتی نظیر نشستی کمتر و تعادل بیشتر می باشد. یکی دیگر از خواص شیرهای سیلندر پیستونی در مقایسه با شیرهای نوع گلاب وجود تعادل بیشتر و عبور جریان آرام تر سیال می باشد، همچنین کاهش در ناپایداری و فرسودگی از جمله دیگر خواص این شیر در مقایسه با شیر گلاب می باشد.

3- شیر دریچه ای یا دروازه ای¹: در این نوع شیر تویی به طور متقاطع یا متمایل (شیب دار) بر روی نشیمنگاه قرار می گیرد و مسیر عبور جریان را قطع و یا وصل می کند، تویی آن به صورت دیسک و یا گوه² می باشد.

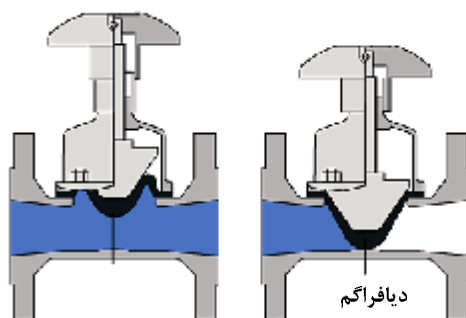


شکل 3-9: شیر دریچه ای یا دروازه ای

¹ Gate Valve

² Wedge

4- شیر دیافراگمی¹: در کنترل جریان سیال زمانی که سیال مواد خورنده و یا سنگین و یا همراه خود ذرات جامد داشته باشند، از شیرهای دیافراگمی استفاده می‌شود و با توجه به مقاوم بودن دیافراگم در بعضی موارد داخل بدنه را نیز با مواد مقاوم در مقابل خوردگی روپوش می‌کنند. مزیت این نوع شیر، قیمت کمتر، تغییرات آسان و جدا بودن قسمت پایین از قسمت بالای آن می‌باشد. لیکن از نظر منحنی مشخصات رضایت‌بخش نبوده و برای درجه حرارت بالا نیز مناسب نمی‌باشد. این نوع شیر به صورت یک دروازه‌ای ساخته می‌شود و ساق آن از بالا مهر می‌شود. نیروی لازم جهت باز و بسته شدن آن بسیار زیاد است.



شکل 3-10: شیر دیافراگمی

5- شیر اطمینان²: شیرهای اطمینان، شیرهایی هستند که به ازای یک فشار و یا درجه حرارت معینی، منفذ خروجی خود را باز و بسته می‌کنند. این نوع شیر در اکثر مصارف صنعتی به کار می‌روند.



شکل 3-11: شیر اطمینان

6- شیر سوزنی³: این شیر برای کنترل جریان بسیار کم سیالات به کار می‌رود و بیشتر در اندازه‌گیری مواد شیمیایی به کار می‌رود، دارای یک دهانه است. (یک دروازه‌ای) و از سمت طریق بالا ساق آن مهر می‌شود.



شکل 3-12: شیر سوزنی

¹ Saunders Valve

² Safety Valve

³ Needle valve

ب) شیرهایی که حرکت توپی آنها دوران است:

معروفترین شیرهایی که حرکت دورانی دارند به قرار زیر هستند:

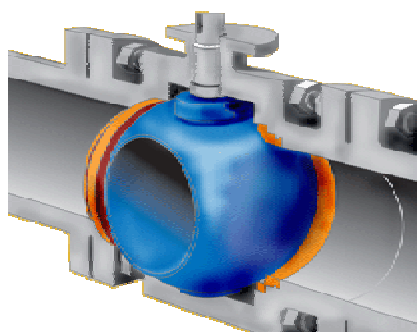
- 1- شیر پروانه‌ای¹: شیرهای پروانه‌ای به منظور کنترل جریاناتی با ظرفیت زیاد و افت فشار کم طراحی می‌شوند، توپی این شیر به صورت پر و یا صفحه مدوری به نام پروانه می‌باشد که حول محوری می‌تواند بچرخد و در نتیجه جریان سیالی را قطع و وصل یا تنظیم نماید. از این نوع شیر به طور وسیعی در خدمات صنعتی به منظور کنترل جریان آب، فاضلاب، هوا یا گاز، خلاء، تنظیم سرعت‌دهنده‌ها² و فن‌ها³ و... به کار می‌رود.



شکل 3-13: شیر پروانه‌ای

همچنین با توسعه و مصالح موادی که در طرح نشیمنگاه این نوع شیرها به کار می‌رود آب بندی مکانیکی بسیار مناسبی حاصل شده و مسئله نشت آنها به مقدار زیادی حل شده است. یکی دیگر از محاسن این شیر که در مهندسی از اهمیت خاصی برخوردار است، داشتن مناسب‌ترین شکل برای عبور جریان با ایجاد کمترین اغتشاش در مسیر جریان سیال (به خصوص زمانی که شیر صد در صد باز است)، می‌باشد. به علت عدم داشتن فرورفتگی که معمولاً در شیرها برای استقرار توپی لازم است، جمع شدن سیال نیز به وجود نمی‌آید و در نتیجه با اطمینان می‌تواند برای کنترل سیال‌های حامل مواد درشت مورد استفاده قرار گیرد.

- 2- شیر کروی⁴: این نوع شیر دارای توپی کروی شکل بوده که در آن برای عبور جریان سیال، شکاف V شکل و یا دریچه استوانه‌ای تراشیده‌اند. محور توپی که توسط ساقه محرکی حرکت دورانی کرده و مسیر عبور سیال را باز و بسته می‌کند و در نتیجه با داشتن چنین سیستم حرکتی، فرسودگی کمتر و احتیاج به تعمیرات کمتر حاصل خواهد شد.



شکل 3-14: شیر کروی

¹ Butterfly Valve

² Blowers

³ Fans

⁴ Ball Valve

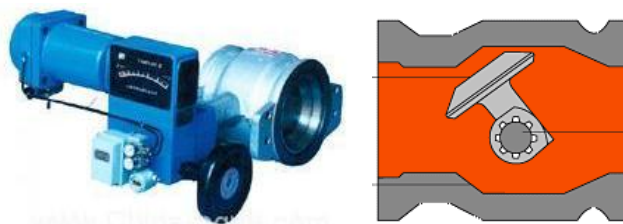
شیرهای کروی بیشترین ظرفیت را در انواع شیرها داشته و گاهی ظرفیت آن‌ها تا دو برابر شیرهای هم‌اندازه نوع گلاب (کروی) با حرکت توپی طولی می‌رسد. این نوع شیرها بیشتر در صنایع کاغذسازی و صنایع نظیر آن که احتیاج به عبور مواد غلیظی باشد به کار می‌رود. برای تعمیر اکثر این نوع شیرها باید آن‌ها را از لوله خارج کرد.

3- شیرهای با توپی سیلندری خارجی از مرکز¹: این شیرها برای فشار و درجه‌ی حرارت محدود ساخته می‌شوند کاربرد شیرهای با توپی سیلندری خارج از مرکز در مواردی است که مایع خورنده و یا غلیظ (مانند کاغذسازی) در حال عبور باشد.



شکل 3-15: شیر با توپی سیلندری خارج از مرکز

4- شیرهای با توپی دورانی خارجی از مرکز²: این نوع شیرها در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند عموماً برای مصارف عمومی در فرآیندهای کنترلی مورد استفاده می‌باشند.



شکل 3-16: شیر با توپی دورانی خارج از مرکز

5- شیر یک‌طرفه³: در این نوع شیرها، صفحه‌ی آویزانی (دریچه‌ای) در نقطه‌ای لولا شده است و حرکت آن همچون حرکت آونگ می‌باشد. جریان سیال با اعمال نیرو بر دریچه، آن را حول نقطه لولا که در حقیقت این نقطه به صورت شافت (محور) کوچکی ساخته می‌شود، قرار می‌دهد. در بعضی انواع این نوع شیر دریچه توسط نیروی فنر که بر پشت آن اعمال می‌شود، در محل نشیمنگاه مستقر می‌شود.



شکل 3-17: شیر یک‌طرفه

عموماً این نوع شیر را در مسیرهای افقی و همچنین مسیرهای قائم که جهت جریان رو به بالا است، نصب می‌کنند و در زمان نصب باید به جهتی که بر روی آن تعبیه شده است و نشانگر جهت جریان سیال می‌باشد، توجه گردد.

¹ Eccentric Cylindrical Plug

² Eccentric Rotating Plug

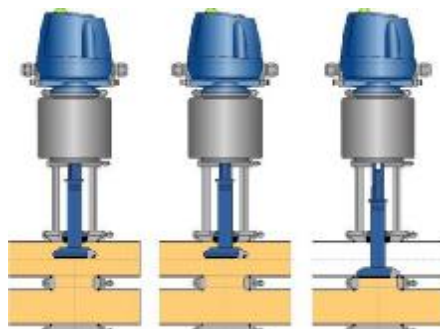
³ Check or Flap Valve

3-2-3- بررسی انواع بدنه:

بدنه یک شیر را از دو جهت می‌توان تقسیم‌بندی نمود: یا از جهت مسیر عبور جریان سیال و یا از جهت ترکیب ساختمان و شکل ظاهری آن که ذیلاً به شرح آن‌ها می‌پردازیم:

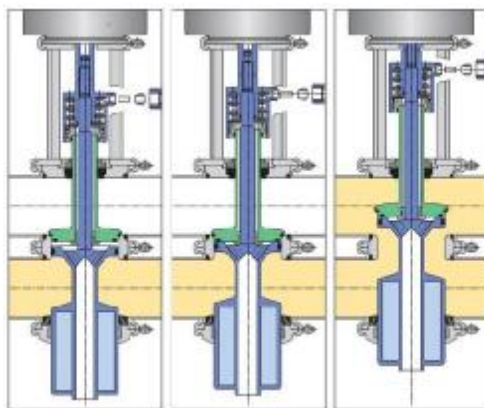
الف) تقسیم‌بندی انواع بدنه از جهت مسیر عبور جریان سیال:

1- شیر یک دهانه‌ای یا دروازه‌ای¹: در این نوع شیرها حرکت توپی به طور طولی است و در مسیر عبور جریان سیال، سیال بر سطح تحتانی توپی فشار آورده و باعث ایجاد نیرویی در جهت بالا بر ساق شیر می‌گردد و در نتیجه متحرک باید برای حفظ تعادل و موقعیت ساق شیب نیروی بیشتری اعمال نماید؛ بنابراین در این شیرها هرچه اندازه‌ی شیر بزرگ‌تر و یا فشار سیال بیشتر باشد، تحرک قوی‌تر مورد نیاز است، لذا این نوع شیرها در ابعاد بزرگ و نیز برای فشارهای زیاد ساخته نمی‌شوند. همچنین باید توجه داشت که به علت داشتن یک توپی و در نتیجه استقلال حرکت توپی، این‌گونه شیرها می‌تواند دارای خاصیت آب‌بندی خوبی بوده و در مواردی که نشست مجاز نیست، می‌توان از این‌گونه شیرها استفاده نمود.



شکل 3-18: شیر یک دهانه‌ای یا دروازه‌ای

2- شیر دو دهانه‌ای یا دروازه‌ای²: در این نوع شیرها نیز حرکت توپی به صورت طولی است، در مسیر عبور جریان سیال نیروی وارده در اثر فشار سیال به سطح تحتانی توپی فوقانی و سطح فوقانی توپی تحتانی تقریباً مساوی بوده و در جهت مخالف اعمال می‌گردد و لذا نتیجه موثری نخواهد داشت. باید توجه داشت که توپی تحتانی برای عبور از دروازه‌ی فوقانی به منظور بازشدگی صد در صد شیر باید از توپی فوقانی کوچک‌تر باشد.



شکل 3-18: شیر دو دهانه‌ای یا دروازه‌ای

¹ Single Seated or Port

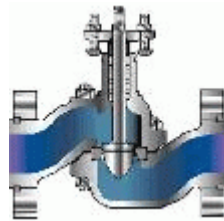
² Double Seated or Port

ب) تقسیم‌بندی انواع بدنه از جهت ترکیب ساختمان و شکل ظاهری:

علاوه بر آنکه شیرها به دو صورت یک دروازه‌ای و دو دروازه‌ای ساخته می‌شوند، برحسب ترکیب ساختمان و شکل ظاهری نیز به سه دسته تقسیم می‌گردند:

1- شیر دو تکه¹:

گاهی اوقات که مواد عبور کننده از شیر خاصیت خوردگی شدید دارد لازم می‌آید هرچند یک‌بار توپی و نشیمنگاه شیر تعمیر و یا تعویض شود، جهت این‌گونه کاربردها معمولاً از شیرهای دو تکه استفاده می‌شود که نشیمنگاه آن‌ها پیچی است و آسان بیرون می‌آید، توصیه می‌شود که برای سیالات با درجه حرارت کم مورد استفاده قرار گیرد تا از احتمال تبخیر شدن کاسته شود. این نوع شیرها از نوع یک دروازه‌ای ساخته می‌شوند و ساق شیر آن‌ها از بالا مهار می‌شود.



شکل 3-19: شیر دو تکه

2- شیر سه راهه²: این نوع شیر یا برای مخلوط کردن دو ورودی و تولید یک خروجی و یا برای تقسیم یک ورودی به دو خروجی به کار می‌رود.



شکل 3-20: شیر سه راهه

3- شیر زانویی یا زاویه‌ای³: این نوع شیر زمانی که فرم لوله‌کشی ایجاب کند و یا برای تخلیه به کار می‌رود و عموماً برای عبور سیال با فشارهای زیاد از شیرهای نوع زانویی استفاده می‌شود و قسمت خروجی اکثر این نوع شیرها به صورت لوله و نثوری ساخته می‌شود.



شکل 3-21: شیر زانویی

¹ Split Body Valve

² Three-Way Valve

³ Angle Type Valve

3-3- پوزیشنر:

تقویت فرامین الکتریکی توسط تقویت کننده صورت می گیرد البته توسط ترانسدیوسرهای الکتریکی - نیوماتیکی و یا الکتریکی هیدرولیکی نیز می توان فرامین الکتریکی را به علائم نیوماتیکی یا هیدرولیکی با قدرت بیشتری تبدیل کرد. در ضمن تقویت فرامین هیدرولیکی توسط شیرهای فرمان یا قدرت صورت می گیرد.



شکل 3-22: پوزیشنر

اما تقویت و به خصوص تنظیم فرامین نیوماتیکی توسط وسیله ای به نام پوزیشنر صورت می گیرد. پوزیشنر وسیله ای است که در ارتباط با شیر کنترل نصب می شود و عمل آن مقایسه موقعیت واقعی شیر کنترل با فرمان وارده از کنترل کننده و تطبیق شیر کنترل با این فرمان می باشد. از این رو در حقیقت پوزیشنر یک سرو مکانیزم است و درعین حال از طرفی پوزیشنر یک رله تقویت کننده است که فرمان صادره از کنترل کننده را تقویت کرده و به محرک منتقل می کند.

3-3-1- علل لزوم کاربرد پوزیشنر در شیرها:

مهم ترین دلایل کاربرد پوزیشنر در شیرها را می توان ذیلاً نام برد:

- 1- وجود اصطکاک در مکانیزم شیر کنترل به واسطه آب بندی گلوگاه شیر
- 2- وجود افت فشار زیاد در طرفین شیر
- 3- وجود فشار زیاد و همچنین ویسکوزیته زیاد سیال مورد کنترل
- 4- در صورتی که فاصله کنترل کننده و شیر کنترل بیش از 150 فوت باشد.
- 5- در صورتی که تقویت و تغییر نسبت فرمان وارده از کنترل کننده لازم باشد.
- 6- در مواردی که حجم محفظه ای دیافراگم (در محرکهای دیافراگمی) زیاد و در هر لحظه حجم زیادی از هوا باید جابجا شود.
- 7- سرعت بخشیدن به عمل شیرهای کنترل و حذف تأخیر زمانی
- 8- در مواردی که لازم است دو شیر کنترل به طور موازی به وسیله ای فرمان یک کنترل کننده و با دامنه های مختلف عمل کنند.
- 9- عموماً بر روی اکثر شیرهای کنترل سه راهه نصب می گردد.
- 10- اندازه شیر کنترل یا مقدار جریان سیال تحت کنترل نامناسب است.

11- در صورتی که محدوده کار شیر زیاد باشد، بالطبع استهلاک حاصل شده و عملکرد شیر غیر صحیح خواهد شد و در نتیجه منحنی مشخصه شیر تغییر می‌یابد. از این رو با تعویض بادامک پوزیشنر می‌توان عملکرد شیر را تصحیح نمود.

در صورتی که حجم محفظه‌ی دیافراگم محرک شیر زیاد باشد، یا سیال دارای ویسکوزیته زیاد باشد می‌بایست سیگنال (فرمان) صادره از کنترل‌کننده تقویت گردد:

3-3-2- اجزاء اصلی پوزیشنر:

به طور کلی اجزاء به‌کاررفته در پوزیشنر به‌قرار زیر می‌باشد:

- 1- **حس‌کننده:** این وسیله سیگنال صادره از کنترل‌کننده را دریافت می‌کند و به‌صورت فانوس¹ یا شیر راهنما² می‌باشد.
- 2- **مقایسه‌کننده:** وسیله‌ای که سیگنال صادره از کنترل‌کننده را با موقعیت تغییریافته ساق شیر مقایسه می‌کند. این وسیله به‌صورت یک اهرم یا میله می‌تواند باشد و به نام‌های میله رابط³ و یا میله‌ی متعادل‌کننده⁴ موسوم است.
- 3- **شیر فرمان:** این شیر با مکانیزم طراحی شده بر روی آن باعث تقویت فرمان صادره از کنترل‌کننده می‌شود. از این رو به آن شیر قدرت⁵ نیز می‌گویند. البته به نام‌های (رله) و (یا) پوستر نیز معروف است.
- 4- **بادامک:** وجود بادامک⁶ مشخص‌کننده رابطه بین موقعیت قرار گرفتن توپی (پلاگ) شیر کنترل و فرمان صادره از کنترل‌کننده می‌باشد و به طور استاندارد برای ایجاد مختصات خطی یا مشخصه خطی و مجذور یا مربع نمودن و جذر یا ریشه گرفتن به طور جداگانه ساخته می‌شود و به همراه پوزیشنر از طرف کارخانه سازنده تحویل داده می‌شود و با برش هلالی شکل آن‌ها می‌توان مکانیزم دلخواه را بر پوزیشنر حاکم کرد.

3-3-3- نحوه عملکرد پوزیشنر:

به طور کلی کارخانجات سازنده پوزیشنر، در دو طرح اصلی به ساخت آن می‌پردازند که عبارتند از:

- 1- نوع ایجاد تعادل به طریق جابجایی (تعادل جابجایی)
- 2- نوع ایجاد تعادل به طریق نیرویی (تعادل نیرویی)

متعاقباً به شرح آن‌ها می‌پردازیم:

- 1- **نوع ایجاد تعادل به طریق جابجایی:** در این نوع میله رابط، حرکت حس‌کننده (فانوس یا شیر راهنما) را از یک طرف و حرکت حاصل از تغییر موقعیت ساق شیر را از طرف دیگر متعادل می‌کند. فرمان کنترل‌کننده وارد حس‌کننده (فانوس) شده و موجب انبساط آن می‌گردد و این عمل باعث حرکت شیر فرمان و در نتیجه تخلیه هوا از روی دیافراگم شیر کنترل و یا ارسال هوا بر روی آن می‌شود و این عمل تا زمانی که موقعیت شیر فرمان با فرمان کنترل‌کننده مطابقت نماید ادامه خواهد داشت.

¹ Bellows

² Spout Valve

³ Beam Of Lever

⁴ Balance Beam

⁵ Pilot Valve

⁶ Cam

2- نوع ایجاد تعادل به طریق نیرویی: اصول کار این نوع سیستم با سیستم قبلی مشابه است و اجزاء اصلی پوزیشنر به طور یکسان در آن به کار رفته و تنها تفاوت موجود، یک تکیه‌گاه ثابت و یک فنر می‌باشد که وظیفه آن‌ها ایجاد نیرویی متناسب با موقعیت شیر کنترل می‌باشد. در این سیستم هرگاه نیروی حاصل از انبساط حس کننده (فانوس) و نیروی حاصل از کشش فنر با یکدیگر متعادل شوند، شیر فرمان در حالت طبیعی خود قرار می‌گیرد. به طور کلی به ازای هر نیرویی که توسط حرکت فانوس ایجاد شود نیروی معادل آن به وسیله فنر تولید شده و شیر فرمان را در حالت تعادل نگاه می‌دارد. هرگاه به هر دلیل این تعادل از بین برود، آن قدر هوا از طریق شیر فرمان (رله یا بوستر) بر دیافراگم شیر کنترل ارسال شده و یا از آن تخلیه می‌گردد تا تعادل مطلوب حاصل شود.

بخش چهارم: اصول طراحی کیفی سیستم‌های کنترلی

3 بخش چهارم: اصول طراحی کیفی سیستم های کنترلی

4-1- مقدمه:

در تهیه طرح اتوماسیون تأسیسات و کارخانجات تولیدی و خدماتی، طراحی کیفی سیستمهای کنترل از اهمیت زیادی برخوردار است، اتوماسیون یا خودکار نمودن کارخانجات و صنایع تولیدی ممکن است در طراحی اولیه به عنوان قسمتی از پروژه اتوماسیون به تأسیسات خودکار (اتوماتیک) تبدیل نمود. در هر دو صورت مهندسين عمليات اطلاعات كافی از چگونگی و طبیعت عمليات در آن تأسیسات را می بایست در اختیار مهندسين کنترل قرار دهند و سپس گروه متخصص اتوماسیون با استفاده از آن اطلاعات و بهره گیری از تجربیات قبلی، سیستمهای اندازه گیری و کنترل تأسیسات مورد نظر را طرح و نقشه ها و مدارک فنی لازم برای اجرای پروژه و همچنین دستورالعمل های لازم برای بهره برداری، نگهداری و تعمیرات تجهیزات اندازه گیری و کنترل را تهیه می نمایند.

4-2- علائم استاندارد:

برای تحلیل و درک سیستمهای کنترل و اندازه گیری از تعدادی علائم و حروف اختصاری و استاندارد استفاده می شود. در کنترل و اندازه گیری از دو سیستم استاندارد ممکن است استفاده شود (ISA) و (DIN). استاندارد ISA¹ به دلیل مورد استفاده بودن در اکثر ممالک من جمله ایران در اینجا معرفی می شود.

4-3- حروف شناسایی دستگاهها و ادوات:

در استاندارد ISA هر دستگاه اندازه گیری یا کنترل با تعدادی حروف مشخص می شود این حروف به طور کلی نماینده کلیه وظایف و عملکردهای دستگاهها می باشد به عنوان مثال TRC-2 که در آن حرف اول از سمت چپ (T) نماینده متغیری است که دستگاه برای کنترل یا اندازه گیری آن در نظر گرفته شده است که در مورد مثال فوق درجه حرارت Temperature می باشد و حروف بعدی (RC) نماینده اعمالی است که توسط دستگاه انجام می گیرد که در مثال فوق R به منظور ثبت کننده یا Recorder و C به منظور کنترل کننده یا Controller قرار گرفته است. عدد 2 که بعد از خط فاصله قرار گرفته نماینده شماره شناسایی دستگاه یا حلقه کنترل بکار رفته است.

4-4- نقشه ها و مدارک فنی:

برای نصب، راه اندازی، عیب یابی و تعمیرات سیستمهای کنترل و اندازه گیری از تعدادی نقشه و مدارک فنی و دستورالعمل هایی استفاده می شود که مهم ترین آنها به شرح زیر است:

- 1- فلودیگرام پروسس²
- 2- فلودیگرام ابزار دقیق³
- 3- فلودیگرام عملیات ریاضی⁴

¹ Instrument Society of America

² Process Flow Diagram

³ Instrument Flow Diagram

⁴ Function Flow Diagram

4- مشخصات فنی ادوات¹

5- دستورالعمل‌های تنظیم و نگهداری²

درک طرز کار و خصوصیات سیستمهای کنترل مستلزم آشنایی با نقشه‌ها و مدارک فوق می‌باشد. لذا متخصصین سیستمهای کنترل می‌بایست مفهوم این نقشه‌ها را به خوبی درک کرده و بتوانند آن‌ها را با سیستم فوق وفق دهند. در اینجا به تشریح دو نقشه 1 و 2 از نقشه‌های فوق می‌پردازیم:

4-4-1- فلو دیاگرام پروسس:

در این نقشه قطعات و تجهیزات مهم تأسیسات از قبیل مخازن، لوله‌ها، شیرها، مبدل‌های حرارتی، دیگ بخار، پمپ، توربین و امثال آن‌ها بطور شماتیک نشان داده می‌شود و علاوه بر آن قطر لوله‌ها، مقادیر حداکثر و حداقل کمیت‌ها و مشخصات فیزیکی مواد پروسس در نقاط مهم (از نظر کنترل و اندازه‌گیری) قید می‌شوند. نقشه فوق توسط مهندس پروسس تهیه شده و در اختیار مهندس کنترل قرار می‌گیرد و مهندس کنترل با استفاده از اطلاعات این نقشه، فلودیاگرام ادوات را تهیه می‌کند.

4-4-2- فلودیاگرام ادوات:

علائم اختصاری مورد استفاده در فلودیاگرام ادوات را می‌توان به سه گروه به شرح زیر تقسیم نمود:

- ادوات اندازه‌گیری و کنترل
- خطوط انتقال علائم حاصل از اندازه‌گیری و کنترل (سیگنالها و فرمان‌ها)
- عمل‌کننده‌ها و عناصر نهایی

در فلودیاگرام ادوات هر دستگاه اندازه‌گیری یا کنترل به وسیله دایره‌ای به قطر تقریبی ده میلی‌متر نشان داده می‌شود که در داخل آن حروف و شماره شناسایی دستگاه قرار می‌گیرد. مثلاً این علامت



نشان‌دهنده دستگاهی است که جریان سیال را ثبت و درعین حال کنترل می‌کند به عبارت دیگر این دستگاه یک کنترل‌کننده جریان است که مجهز به ثبات نیز می‌باشد³ چنانچه این دستگاه روی تابلوی اتاق کنترل قرار گیرد با قرار دادن خطی در وسط دایره مشخص می‌شود مانند



و اگر این دستگاه در پشت تابلوی اتاق کنترل قرار گیرد با قرار دادن خط چین در وسط دایره مشخص می‌شود مانند



که نشان‌دهنده دستگاه کنترل و اخطار جریان شماره 4 می‌باشد⁴ چنانچه تابلوی کنترل در همان محل انجام پروسس باشد توسط دایره‌ای با دو خط در داخل آن نشان داده می‌شود مانند

¹ Spesification Sheets

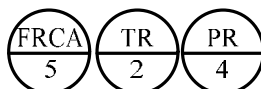
² Instruction Manuals

³ Flow Recorder Controller

⁴ Flow Controller Alarm



که مشخص کننده دستگاه کنترل و نشان دهنده درجه حرارت می باشد¹ و چنانچه یک دستگاه کمیت های مختلف را اندازه گیری یا کنترل کند در این صورت به تعداد این متغیرها دواير مماس به هم نشان دهنده آن دستگاه خواهد بود مانند



که نشان دهنده دستگاهی است که می تواند ضمن کنترل، ثبت و اخطار جریان، با دو قلم اضافی درجه حرارت و فشار را نیز ثبت کند و بطوریکه از شماره های هر دایره دیده می شود هر کمیتی مربوط به یک حلقه کنترل یا اندازه گیری است و علامت قفل شدن دستگاه به صورت



نشان داده می شود.

ضخامت خطوط مربوط به انتقال علائم باید بطور مشخص کمتر از خطوط اصلی از قبیل لوله ها و کانال ها و غیره باشد. بطور کلی علائم حاصل از اندازه گیری و کنترل به روش های زیر می تواند از نقطه ای به نقطه دیگر منتقل شوند:

Instrument supply
or process connection
(impulse line)

لوله های اتصال دستگاه به پروسس یا اتصال مکانیکی

Pneumatic signal
(continuous)

خطوط انتقال علائم بادی یا سیگنالهای نیوماتیک

Electric signal
(continuous)

خطوط انتقال علائم الکتریکی

(or)

Capillary tube

انتقال علائم از طریق لوله های موئین

Hydraulic signal

خطوط انتقال علائم هیدرولیکی

Waveguide

خطوط انتقال علائم به صورت امواج الکترومغناطیسی یا صوتی

Undefined

سیگنال تعریف نشده

Data link
(system internal)

ارتباطات داخلی سیستم (ارتباط اطلاعاتی و یا نرم افزاری)

Sonic or other wave

سیگنال الکترومغناطیسی

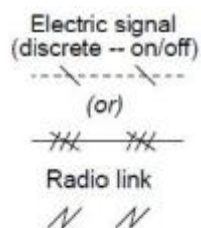
Mechanical link

ارتباطات مکانیکی

Pneumatic signal
(discrete -- on/off)

سیگنال دوتایی (ON-OFF) نیوماتیک

¹ Temperature Indicator Controller



سیگنال دوتایی (ON-OFF) الکتریکی

ارتباط رادیویی

استاندارد ISA برای مفاهیم حروف اختصاری سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل جدول ذیل را تنظیم نموده است که در فلودیگرام ابزار دقیق (Instrument Flow Diagram) کاربرد وسیع دارد. علائم اختصاری استاندارد ISA جهت استفاده در فلودیگرام ابزار دقیق در زیر ارائه شده است:

INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA TABLE

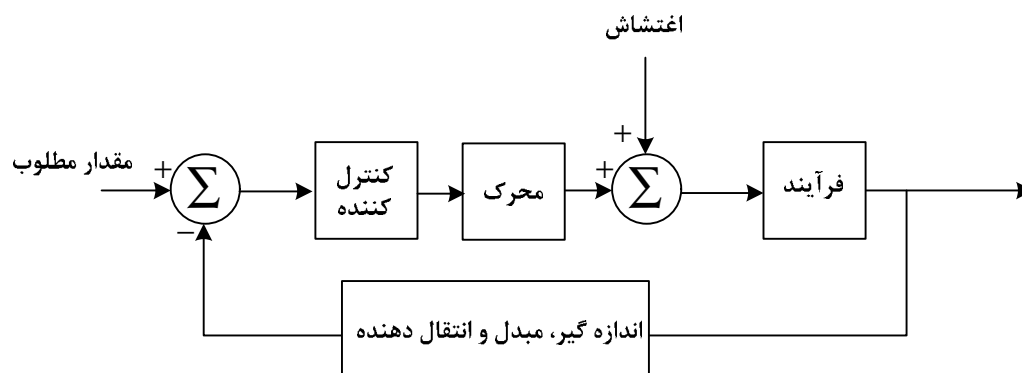
LETTER	FIRST-LETTER		SUCCEEDING-LETTERS		
	PROCESS OR INITIATING VARIABLE	MODIFIER	READOUT OR PASSIVE FUNCTION	OUTPUT FUNCTION	MODIFIER
A	ANALYSIS (+)		ALARM		
B	BURNER, COMBUSTION		USER'S CHOICE (*)	USER'S CHOICE (*)	USER'S CHOICE (*)
C	USER'S CHOICE (*)			CONTROL	
D	DENSITY (S.G) (1)	DIFFERENTIAL			
E	VOLTAGE		PRIMARY ELEMENT (SENSOR)		
F	FLOW RATE	RATIO (FRACTION)			
G	USER'S CHOICE (*)		GLASS, GAUGE VIEWING DEVICE	GATE	
H	HAND (MANUAL)				HIGH
I	CURRENT (ELECTRICAL)		INDICATE		
J	POWER	SCAN		CONTROL STATION	
K	TIME, TIME SCHEDULE	TIME RATE OF CHANGE			
L	LEVEL		LIGHT (PILOT)		LOW
M	MOTION	MOMENTARY			MIDDLE
N	TORQUE (1)		USER'S CHOICE (*)	USER'S CHOICE (*)	USER'S CHOICE (*)
O	USER'S CHOICE (*)		ORIFICE, RESTRICTION		
P	PRESSURE, VACUUM		POINT (TEST) CONNECTION		
Q	QUANTITY	INTEGRATE, TOTALIZE			
R	RADIATION		RECORD OR PRINT		
S	SPEED, FREQUENCY	SAFETY		SWITCH	
T	TEMPERATURE			TRANSMIT	
U	MULTIVARIABLE		MULTIFUNCTION	MULTIFUNCTION	MULTIFUNCTION
V	VIBRATION, MECHANICAL ANALYSIS			VALVE, DAMPER, LOUVER	
W	WEIGHT, FORCE		WELL		
X	UNCLASSIFIED (+)	X AXIS	UNCLASSIFIED (+)	UNCLASSIFIED (+)	UNCLASSIFIED (+)
Y	EVENT, STATE OR PRESENCE	Y AXIS		RELAY, COMPUTE, CONVERT	
Z	POSITION, DIMENSION	Z AXIS		DRIVE, ACTUATOR, UNCLASSIFIED FINAL CONTROL ELEMENT	

(+) WHEN USED, EXPLANATION IS SHOWN ADJACENT TO INSTRUMENT SYMBOL. SEE ABBREVIATIONS AND LETTER SYMBOLS.

(*) WHEN USED, DEFINE THE MEANING HERE FOR THE PROJECT

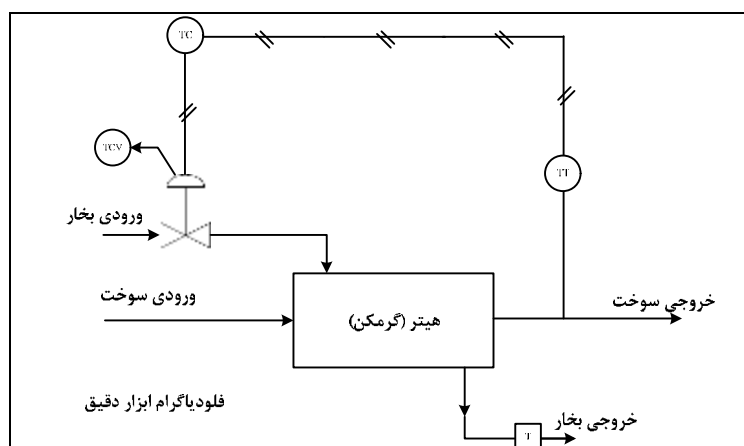
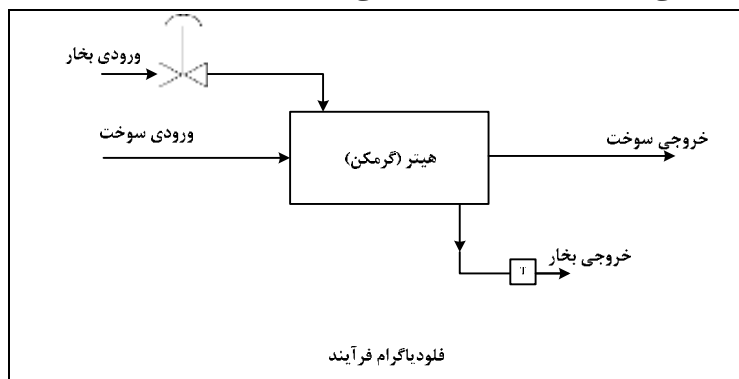
(1) CH2M HILL DEFINITION

جهت یادآوری مجدداً بلوک دیاگرام یک کنترل حلقه بسته را با توجه به اجزاء آن کشیده و فلودیگرام اینسترومنت آن را رسم می‌کنیم.



1-4: دیاگرام یک سیستم کنترلی حلقه بسته

برای رسم فلودیگرام اینسترومنت مقدماً به مثال زیر توجه کنید:
فرض کنید که می‌خواهیم درجه حرارت خروجی سوخت از یک هیتر در حد مشخص کنترل شود، برای کنترل درجه حرارت سوخت ابتدا باید توسط وسیله‌ای خاص درجه حرارت سوخت اندازه‌گیری شود و سپس توسط وسیله‌ای دیگر با مقدار مورد نظر مقایسه شود و در صورت کمبود یا افزایش درجه حرارت سوخت مقدار بخار ورودی به سیستم را افزایش یا کاهش داد. وسیله‌ای که درجه حرارت سوخت را اندازه‌گیری می‌کند ترانسمیتر درجه حرارت می‌باشد و وسیله‌ای که مقدار درجه حرارت سوخت را با مقدار مطلوب مقایسه می‌کند کنترلر درجه حرارت می‌باشد.



4-5- اختصارات و علائم کاربردی:

4-5-1- استاندارد ISA:

نقشه‌های مدارهای ابزار دقیق: هدف این استاندارد ارائه و تعیین روش و اقدام لازم برای آماده‌سازی و کاربرد نقشه‌های ابزار دقیق در طراحی، ساخت، کنترل، راه‌اندازی، عملکرد، نگهداری و نوسازی سیستمهای ابزار دقیق واحدهای صنعتی است و اساساً برای فراهم آوردن تسهیلات لازم جهت تفهیم مدار کنترل و بهبود ارتباط بین پرسنل فنی، غیر فنی، مدیریت، طراح، عملیات و نگهداری که با سیستمهای ابزار دقیق سروکار دارند، در نظر گرفته شده است. درحالی‌که نقشه لوله‌کشی ابزار دقیق¹، سمبل‌ها و مشخصات شناخت ابزار دقیق تمام مدارهای پروسس را ارائه می‌دهد، نقشه مدار، اطلاعات بیشتری را همراه با جزئیات لازم در دسترس قرار می‌دهد.

4-6-2- دامنه کاربرد: این استاندارد معرف خطوط هدایت‌کننده برای تقویت کاربرد و استفاده عمومی و قبول نقشه‌های مدار در تمام صنعت بوده و موارد زیر را در بر می‌گیرد:

- کاربردها
- محتوی
- سمبل‌ها
- نقشه‌ها

4-5-3- کاربردهای یک نقشه مدار ابزار دقیق:

بعضی از کاربردهای نقشه‌های مدارها که ذیلاً معرفی شده‌اند، در جدول زمانی پیشرفت کار پروژه قید می‌شوند و انتخاب کاربردها بر حسب نیاز و جهت تأمین خواسته‌های عنوان شده انجام می‌گیرد.

1- مهندسی:

- به‌عنوان یک وسیله طراحی: نقشه‌های مدار اگر پیشاپیش آماده شوند، حداکثر مزایا و امکانات را برای استفاده در بیان فلسفه کنترل در بر خواهند داشت.
- به‌عنوان ضمیمه نقشه‌های ابزار دقیق: نقشه مدار باید دستگاه‌های اصلی و اجزاء فرعی مدار ابزار دقیق را نشان داده، احتیاجات ایمنی سیستمها و نیازهای دیگر را مورد توجه دقیق قرار دهد.
- به‌عنوان وسیله‌ای برای مشخصات فنی اقلام سخت‌افزار و کمکی موجود در مدار: به‌عنوان معرف و تعیین‌کننده وسعت ابزار دقیق پروژه، نقشه‌های مدار می‌توانند به‌عنوان اسناد رسمی برای تکمیل نقشه‌های لوله‌کشی و ابزار دقیق مورد استفاده قرار گیرند.
- به‌عنوان وسیله مکاتبه و تماس با سازندگان
- به‌عنوان وسیله بررسی فنی به‌منظور تکمیل اطلاعات مورد نیاز

2- ساخت:

- ساخت ابتدایی تابلوها

¹ Piping and Instrument Diagram

- نصب کارگاهی ابزار دقیق از جمله تابلوها
- ارتباط بین دستگاه‌ها.
- بررسی و بازبینی مدار ابزار دقیق
- بازرسی و تهیه اسناد فنی

3- راه‌اندازی:

- راه‌اندازی اولیه و کالیبراسیون
- تکمیل و توسعه نقشه‌های لوله‌کشی و ابزار دقیق جهت پرسنل راه‌اندازی با در نظر گرفتن نکات ایمنی و احتیاجات دیگر.
- از نقشه‌های مدار می‌توان به‌عنوان اسناد مکمل نقشه‌های لوله‌کشی و ابزار دقیق به‌صورت وسایل و کمک‌های آموزشی استفاده کرد.

4- نگهداری و تعمیر:

- نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی شده و زمان‌بندی نشده
- تغییرات
- بازسازی و نوسازی

5- بهره‌برداری:

- وسیله ارتباط پرسنل عملیات، نگهداری و مهندسی با یکدیگر
- دستگاه آموزش بهره‌برداری از سیستم

4-6-4- محتویات نقشه مدار ابزار دقیق:

یک نقشه مدار باید حاوی اطلاعات مورد نیاز کاربردهای انتخاب شده در قسمت الف فوق‌الذکر باشد. طبقه‌بندی زیر بیانگر حداقل خواسته‌های مورد نیاز بوده که می‌توانند در جهت تأمین کاربردهای مطلوب تر ترکیب شوند. یک نقشه مدار، برای پاسخگویی به حداقل احتیاجات باید حاوی اطلاعات جامعی در موارد زیر باشد:

- کلیه دستگاه‌ها باید دارای برچسب تشخیص و تعیین هویت باشند.
- هویت شناسایی مدار و دستگاه‌های اصلی آن، شامل اتصالات زمین دستگاه‌ها و شماره ترمینال‌ها الزامی است. کلیه شماره گذاری‌ها و مشخصات تعیین ارتباطات باید با نقشه‌های لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID) هماهنگ باشند.
- توضیح عملیات مدار یکی دیگر از مواردی است که باید در نقشه مدار قید شده باشد در غیر این صورت باید به‌صورت یادداشت در قسمتی از نقشه منعکس شود. توضیح در مورد نکات برجسته خاص و یا عملیات دیگری که کاملاً آشکار نبوده یا در عنوان نقشه بیان نشده‌اند خصوصاً در مورد سیستم‌های ایمنی و قطعی‌ها ضروری و حائز اهمیت است.
- نقشه مدار باید همراه با شماره‌های مشخص‌کننده برای کابل‌های الکتریکی، زوج‌های هادی‌ها، اتصالات نیوماتیکی و هیدرولیکی باشد. این مشخصات شامل اتصالات جعبه‌های اتصال، ترمینال‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم و ورودی‌ها و خروجی‌های کامپیوتر می‌شود.
- محل دستگاه‌ها، مانند کارگاه، جلوی تابلو، پشت تابلو، دستگاه‌های کمکی، کابینت‌های اتصال و رابط، محل سینی‌های کابل‌ها و لوله‌های انتقال نیوماتیک، ورودی - خروجی کامپیوتر یکی دیگر از مواردی است که باید در نقشه مدار مشخص شود.

- منابع انرژی و تغذیه: قدرت الکتریکی، منبع تغذیه هوا و مایع هیدرولیک با مشخصات ولتاژ، فشار و دیگر احتیاجات کاربردی نیز باید در نقشه مدار مشخص شوند.

علاوه بر اطلاعات فوق لازم است که موارد زیر نیز در نقشه مدار عنوان شوند:

- خطوط کافی از پروسس و دستگاه‌های مربوطه برای توضیح قسمت پروسس مدار و روشن نمودن عمل کنترل
- این قسمت از محتویات نقشه مدار باید آنچه را که تحت اندازه‌گیری، کنترل و ارائه اطلاعات ضروری دیگر می‌باشد، شامل شود.
- اشاره به نقشه‌ها و سایر اسناد تکمیلی
- این قسمت ارتباط نقشه مدار را با مدارهای کنترل دیگر نشان می‌دهد.
- عمل‌کننده، شیر کنترل و نوع عملکرد آن در حالت‌های بحرانی (مانند قطعی ولتاژ یا هوای تغذیه و غیره) و عمل شیر مغناطیسی
- استانداردها و جزئیات نصب برای کلیه دستگاه‌ها باید تعریف و منبع انرژی باید مشخص شود.
- محل دقیق هر دستگاه شامل اطلاعات مربوط به ارتفاع باید مشخص باشد.

ضمناً ارائه اطلاعات مربوط به موارد زیر اختیاری است:

- مشخصات خرید معمولاً به صورت خلاصه یا اشاره به مشخصات خرید و اوراق اطلاعاتی مربوطه
- شماره مدل سازنده دستگاه‌ها به منظور تعیین هویت سریع به وسیله پرسنل پروژه یا نگهداری
- اطلاعات کالیبراسیون شامل مقادیر مطلوب، برای سیستم‌های اعلام خطر و قطع کننده
- شماره‌های تعیین هویت دستگاه‌ها از جمله کابینت‌ها، تابلوها و جعبه‌های اتصال

خلاصه‌ای از اختصارات و نمادهای لازم برای تهیه مدارک مهندسی به شرح زیر می‌باشد:

مراجع:

- 1- کاربرد سنسورها در اتوماسیون - جزوه - دکتر بهزاد مشیری - دانشگاه تهران
- 2- ابزار دقیق و اجزاء کنترل صنعتی - کتاب - دکتر کمال الدین نیک روش - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- 3- ابزار دقیق - جزوه - دکتر حسین طباطبایی یزدی - دانشگاه فردوسی مشهد
- 4- جزوه ابزار دقیق پیشرفته - دکتر حمید مؤمنی - دانشگاه تربیت مدرس